

Progettazione e messa a punto di un apparato sperimentale da utilizzare in volo  
parabolico

di

Riccardo Stanghellini

Tesi proposta per il conseguimento del

titolo accademico di

DOTTORE IN INGEGNERIA MECCANICA

presso la

Facoltà di Ingegneria

della

Università degli Studi di Pisa

16 luglio 2008

Autore:

Riccardo Stanghellini .....

Approvata da:

Prof. Ing. Paolo Di Marco .....

Prof. Ing. Sandro Paci .....

Si è progettato una struttura tale da permettere la realizzazione di un esperimento riguardante lo studio della dinamica di bolle di gas sottoposte a campo elettrico in ambiente di microgravità. Tenuto conto delle specifiche di sicurezza imposte dall'azienda realizzatrice dei voli parabolici e delle necessità sperimentali, è stata ideata una struttura flottante, contenuta in una gabbia, tale da non far risentire effetti di g-jitter alle bolle nascenti e in grado di acquisire le immagini delle bolle stesse da due differenti angolazioni. Durante la progettazione è stata prodotta una documentazione riguardante l'analisi preliminare di rischio e sono stati posti in essere accorgimenti tali da minimizzare i rischi analizzati. Dopo la fase di progettazione, si è provveduto a verificare e a mettere a punto la cella stessa, con particolare attenzione alla gestione di acquisizione delle immagini del sistema.

A structure has been designed to allow the execution of an experiment to study gas bubble dynamics under the influence of an electric field, in microgravity environment. In particular, a free floating cell has been designed contained in a rack to avoid any external influence like g-jitter on bubble dynamics. The structure allows taking pictures of the rising and developing bubble by two different points of views. All the structure was designed considering both safety requirements and experimental needs. During the design phase all the documentation about preliminary hazard report was produced, consequentially several countermeasures were taken to minimize these hazards. After the design phase the experiment cell was developed with particular care to the acquisition of bubble pictures.

# Indice

<b>1</b>	<b>Premesse</b>	<b>1</b>
1.1	Introduzione . . . . .	1
1.2	Principi del volo parabolico . . . . .	2
1.3	Inconvenienti dovuti al g-jitter . . . . .	3
1.4	Free Floating experiment . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Descrizione dell'esperimento</b>	<b>7</b>
2.1	Introduzione . . . . .	7
2.2	Apparato sperimentale di laboratorio . . . . .	7
2.2.1	Sistema di generazione delle bolle . . . . .	8
2.2.2	Sistema di controllo e acquisizione dati . . . . .	10
2.2.3	Sistema di generazione del campo elettrico . . . . .	11
2.2.4	Sistema di registrazione immagini . . . . .	11
2.3	Fase sperimentale . . . . .	12
2.3.1	Set-up . . . . .	12
2.3.2	Acquisizione dati . . . . .	13
2.3.3	Analisi dati . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Requisiti di sicurezza</b>	<b>15</b>
3.1	introduzione . . . . .	15
3.2	Politica di sicurezza . . . . .	15
3.2.1	Gestione del rischio . . . . .	15
3.2.2	Analisi preliminare di rischio . . . . .	16
3.3	Descrizione delle interfacce presenti sull'A300 Zero-G . . . . .	17
3.3.1	Dimensioni caratteristiche . . . . .	17

3.3.2	Ambiente di cabina . . . . .	18
3.3.3	Interfaccia fra l'esperimento e il pavimento . . . . .	18
3.3.4	Altri tipi di interfaccia . . . . .	18
3.4	Requisiti e linee guida per la progettazione . . . . .	19
3.4.1	Verifica strutturale . . . . .	19
3.4.2	Particolari strutturali consigliati . . . . .	23
3.4.3	Suggerimenti per quanto riguarda l'area elettrica . . . . .	24
3.4.4	Politica riguardante i liquidi . . . . .	24
3.4.5	Sistemi in pressione . . . . .	24
3.4.6	Avvertenze riguardanti il free floating . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Progettazione</b>	<b>26</b>
4.1	Introduzione . . . . .	26
4.2	Andamento storico . . . . .	26
4.2.1	Ricerca materiale . . . . .	27
4.2.2	Cella in fibra di carbonio . . . . .	28
4.2.3	Cella in alluminio, prima versione . . . . .	30
4.2.4	Cella in alluminio, seconda versione . . . . .	31
4.2.5	Rinuncia al free floating libero . . . . .	31
4.2.6	Free floating in a cage . . . . .	33
4.3	Vista d'insieme . . . . .	33
4.4	Cella . . . . .	34
4.4.1	Requisiti . . . . .	34
4.4.2	Corpo centrale . . . . .	36
4.4.3	Coperchio superiore . . . . .	37
4.4.4	Coperchio inferiore . . . . .	38
4.4.5	Organo di generazione della bolla . . . . .	39
4.4.6	Assieme e assemblaggio . . . . .	40
4.5	Gruppo ottico . . . . .	40
4.5.1	Pre-progettazione . . . . .	40
4.5.2	Realizzazione . . . . .	42
4.6	Assemblaggio del pacchetto flottante . . . . .	45
4.6.1	Doppio contenimento . . . . .	45

4.6.2	Rack protettivo e supporti vari . . . . .	47
4.7	Collegamento della struttura flottante alla gabbia . . . . .	48
4.8	Rack principale . . . . .	49
<b>5</b>	<b>Messa a punto dei sistemi ottici</b>	<b>53</b>
5.1	Introduzione . . . . .	53
5.1.1	Cella equivalente . . . . .	53
5.1.2	Gruppo specchi equivalente . . . . .	55
5.1.3	Assemblaggio . . . . .	56
5.2	Verifica preliminare del sistema ottico . . . . .	57
5.3	Verifica preliminare del sistema di illuminazione . . . . .	58
<b>6</b>	<b>Analisi preliminare di rischio</b>	<b>61</b>
6.1	Metodologia adottata . . . . .	61
6.2	Individuazione dei rischi principali . . . . .	62
6.3	Preliminary Hazard Report . . . . .	63
6.3.1	Fuoriuscita del liquido sperimentale . . . . .	63
6.3.2	Esplosione della cella . . . . .	64
<b>7</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>67</b>
<b>A</b>	<b>Verifiche strutturali</b>	<b>68</b>
A.1	Verifiche standard Novespace . . . . .	69
A.1.1	Calcolo della massa dell'esperimento . . . . .	69
A.1.2	Shear force . . . . .	70
A.1.3	Traction force . . . . .	70
A.1.4	Bending moment on upright . . . . .	71
A.1.5	Rail load . . . . .	72
A.1.6	Summary of structural hardware verification and requirements . . . . .	72
A.2	Altre verifiche strutturali . . . . .	72
A.2.1	Verifica dei collegamenti filettati . . . . .	73
A.2.2	Verifica elementi finiti della cella . . . . .	77
A.2.3	Verifica elementi finiti del telaio . . . . .	77

<i>INDICE</i>	V
<b>B Disegni tecnici con quote di ingombro</b>	<b>81</b>
<b>C Hazard Reports</b>	<b>85</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>I</b>

# Elenco delle figure

1.1	Airbus A-300 Zero-G . . . . .	2
1.2	Traiettoria di Zero-G durante la manovra . . . . .	3
1.3	Suddivisione delle fasi della parabola . . . . .	4
1.4	Tempi e accelerazioni nelle varie fasi . . . . .	4
1.5	Diagramma delle accelerazioni in una generica parabola [Di Marco e Grassi, 1996] . . . . .	5
1.6	Accelerazioni in una generica parabola nella fase di migrogravità [Di Marco e Grassi, 1996] . . . . .	6
2.1	Schema di massima dell'apparato sperimentale . . . . .	8
2.2	Schema del circuito del gas: dalla bombola al controllore di flusso . . . . .	10
3.1	Divisione delle zone di rischio . . . . .	16
3.2	Sistema di riferimento dell'aereo . . . . .	17
3.3	Divisione della fusoliera dell' aereo . . . . .	17
3.4	Sezione trasversale dell'area sperimentale . . . . .	18
3.5	Sistema di aggancio al pavimento . . . . .	19
3.6	Rack suggerito dalla Novespace . . . . .	20
3.7	Schema dell' impuntamento del rack . . . . .	22
3.8	Limite al peso sostenibile dai binari . . . . .	23
4.1	Cella in fibra di carbonio . . . . .	29
4.2	Cella in alluminio lavorata alle macchine utensili . . . . .	30
4.3	Cella in alluminio con viti incassate, coprifinestre e o-ring . . . . .	32
4.4	Vista dell'intera struttura . . . . .	34

4.5	Corpo centrale della cella . . . . .	35
4.6	Corpo centrale con le finestre montate . . . . .	36
4.7	Coperchio superiore con la cappa . . . . .	38
4.8	Vista del coperchio inferiore . . . . .	39
4.9	Vista dell'organo di generazione della bolla . . . . .	40
4.10	Esploso della cella . . . . .	41
4.11	Schema di massima del posizionamento degli specchi . . . . .	42
4.12	Gruppo specchi vista frontale . . . . .	43
4.13	Gruppo specchi vista posteriore . . . . .	43
4.14	Assemblaggio della cella insieme al gruppo specchi . . . . .	44
4.15	Vista del doppio contenimento . . . . .	46
4.16	Schema dell'attrezzatura necessaria all'interno del doppio contenimento . . . . .	47
4.17	Pacchetto flottante . . . . .	48
4.18	Vista dell'organo con il sistema di cavi . . . . .	50
4.19	Vista del rack principale . . . . .	52
5.1	Vista della scatola equivalente . . . . .	54
5.2	Vista del gruppo specchi equivalente. Può essere notata anche una fonte di illuminazione a matrice di led . . . . .	55
5.3	Struttura ottica equivalente, si nota anche il led con il reostato di regolazione . . . . .	56
5.4	Vista del sistema ottico ottimizzato, ripresa in una situazione di confronto fra la matrice di led e un'alogeno . . . . .	57
5.5	Immagini ottenute grazie all'utilizzo di due lampade alogene . . . . .	58
5.6	L'immagine a destra è ottenuta grazie all'utilizzo della matrice di led, quella a sinistra mostra la differenza fra la matrice di led (sn) e una lampada tradizionale (dx) . . . . .	59
5.7	Confronto fra il mono led (sn) e un'alogeno (dx) . . . . .	60
6.1	Preliminary Hazard Report on Release of fluid FC-72 . . . . .	64
6.2	Schema del circuito in pressione . . . . .	65
6.3	Preliminary Hazard Report on explosion of Test Section . . . . .	66
A.1	Complessivo con le indicazioni di massa e baricentro . . . . .	69
A.2	Carichi di taglio sulle viti di attacco . . . . .	70



A.3	Carichi di trazione sulle viti di attacco . . . . .	71
A.4	Momento flettente sui montanti . . . . .	71
A.5	Modello agli elementi finiti del doppio contenimento . . . . .	75
A.6	Soluzione del doppio contenimento . . . . .	76
A.7	Sollecitazioni sulle sole finestre . . . . .	76
A.8	Rappresentazione della pressione interna . . . . .	78
A.9	Immagine tratta dalla verifica Ansys della cella . . . . .	79
A.10	Caratteristiche della sollecitazione del telaio . . . . .	80
B.1	Cella . . . . .	82
B.2	Pacchetto flottante . . . . .	83
B.3	Complessivo . . . . .	84

# Elenco delle tabelle

3.1	Carichi nel caso di atterraggio di fortuna . . . . .	21
3.2	Massimi carichi sostenibili dalle viti di attacco . . . . .	21
4.1	Masse delle attrezzature presenti in laboratorio . . . . .	28
4.2	Specifiche bombola (produttore: Matar s.r.l.) . . . . .	28
4.3	Masse aggiornate dopo la fase di ricerca del materiale da fornitori . . . . .	29
4.4	Masse aggiornate dopo la fase di progettazione della cella . . . . .	32
A.1	Massimi carichi sostenibili dalle viti di attacco . . . . .	68
A.2	Caratteristiche dei profili strutturali . . . . .	72
A.3	Riepilogo delle principali verifiche strutturali . . . . .	72

# Capitolo 1

## Premesse

### 1.1 Introduzione

Questa tesi ha lo scopo di rendere possibile, tramite la progettazione di un'apparecchiatura sperimentale, lo studio del distacco di bolle in ambiente di microgravità.

La condizione di scarsa gravità o addirittura la sua totale mancanza ha effetti rilevanti sulla meccanica della formazione e del distacco di bolle: mancando la gravità, infatti, viene meno la forza propulsiva del principio di Archimede che è uno dei motivi basilari per cui si ha distacco di bolle. Per questo motivo le bolle di gas crescono teoricamente fino a dimensioni infinite e si staccano con difficoltà dal punto ove sono generate.

Poichè è stato osservato che in condizioni di gravità normale la presenza di campo elettrico è un fattore incentivante per quanto riguarda il distacco delle bolle, si ritiene interessante studiare quanto questa presenza sia di aiuto alla separazione della bolla dalla superficie di nucleazione anche in assenza di gravità.

Con l'apparecchiatura oggetto dello studio si vuole studiare l'effetto del campo elettrico sul distacco di bolle in condizioni di microgravità. Questo studio ha come campo di applicazione più evidente lo studio di scambiatori di calore a ebollizione in ambito spaziale.

Per prima cosa è stato necessario stabilire come realizzare l'ambiente in microgravità in cui poter effettuare l'esperimento; i modi a disposizione degli sperimentatori sono principalmente quattro, nello specifico: torre di caduta, volo parabolico, razzi sonici e voli orbitali. È stato stabilito che il modo migliore per gli scopi del nostro esperimento sia quello dell'aereo in volo parabolico, quindi è stata inoltrata richiesta alla Novespace società che, per conto dell'ESA,

si occupa dei voli parabolici in Europa. La Novespace ha ovviamente delle limitazioni e delle norme di sicurezza da seguire per la realizzazione degli esperimenti: sulla base di queste norme e sulle esigenze sperimentali è stata progettata la struttura oggetto dello studio.

## 1.2 Principi del volo parabolico

Il volo parabolico è uno dei mezzi che con cui è possibile realizzare un ambiente in assenza di gravità; l'aspetto conduttore del fenomeno è il noto principio fisico della somma delle accelerazioni: l'aereo nella fase balistica ha esattamente un'accelerazione verticale pari a  $g$  per cui ogni corpo al suo interno non avverte la gravità in quanto la forza di inerzia bilancia la forza peso. In Europa la possibilità di compiere campagne sperimentali in situazioni di volo parabolico è offerta dalla Novespace in collaborazione con l'ESA. La Novespace per le sue campagne sperimentali in volo parabolico utilizza un Airbus A-300 riadattato chiamato Zero-G (visibile in figura 1.1).



Figura 1.1: Airbus A-300 Zero-G

L'aereo per ogni volo esegue generalmente 31 parabole, ogni manovra comincia con l'A-300 in volo stabile livellato a 6000m e 810km/h. Durante questa parte del volo l'accelerazione di gravità percepita all'interno dell'aereo è ovviamente  $1g$ . In un punto prefissato della crociera il pilota inizia a cabrare fino ad un angolo di ascesa di circa 47 gradi raggiungendo un valore

dell'accelerazione di gravità di circa  $1.5 - 2\text{ g}$ . Ad un'altitudine di 7500m, dopo aver raggiunto il grado di ascensione desiderato e ad una velocità di circa 650km/h, viene ridotta la spinta motrice a quella meramente necessaria a compensare l'attrito con l'aria. A questo punto l'aereo descrive una traiettoria balistica di caduta libera; questa parabola dura all'incirca 20 secondi durante i quali si raggiungono le condizioni di microgravità. Il picco della parabola si raggiunge a circa 8500m dove la velocità è decresciuta fino a 390km/h.

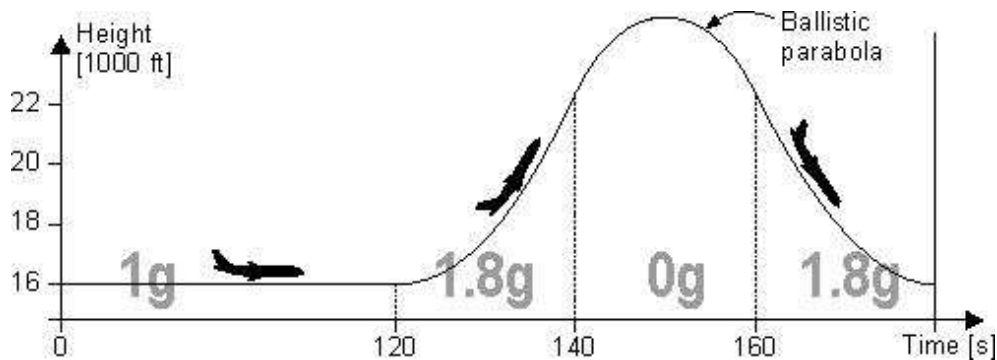


Figura 1.2: Traiettoria di Zero-G durante la manovra

Alla fine della fase a microgravità, ovvero quando sono raggiunti nuovamente i 7500m, il pilota richiama l'aereo dalla sua fase parabolica entrando in una fase in cui si raggiungono nuovamente dei picchi di gravità di  $1.5 - 2\text{ g}$ . Alla fine della richiamata dell'aereo che, per inciso, dura una ventina di secondi, l'aereo raggiunge nuovamente i 6000m e si trova in volo livellato a una velocità di crociera uguale a quella posseduta prima dell'inizio della manovra. Fra ogni parabola compiuta dall'A-300 in ogni volo passano 2 minuti e ognuna di esse dura all'incirca un minuto per cui il periodo di ripetizione delle parabole è di 3 minuti. Le parabole sono eseguite in serie di cinque, alla fine di ogni serie si ha un periodo di volo livellato durevole dai 4 agli 8 minuti in cui è possibile compiere eventuali regolazioni sugli esperimenti.

Nelle figure 1.3 e 1.4 sono descritte, rispettivamente, le varie fasi in cui può essere suddivisa una qualsiasi parabola della serie e i fenomeni che si hanno nelle fasi stesse.

### 1.3 Inconvenienti dovuti al g-jitter

Nella figura 1.4 però è presente un'inesattezza in quanto sembrerebbe che durante le fasi 4-5 e 5-6 all'interno dell'aereo si abbia una totale assenza di accelerazioni; in realtà non è così ma si hanno delle oscillazioni nell'accelerazione di gravità di entità pari a  $0.01-0.03\text{g}$  ad

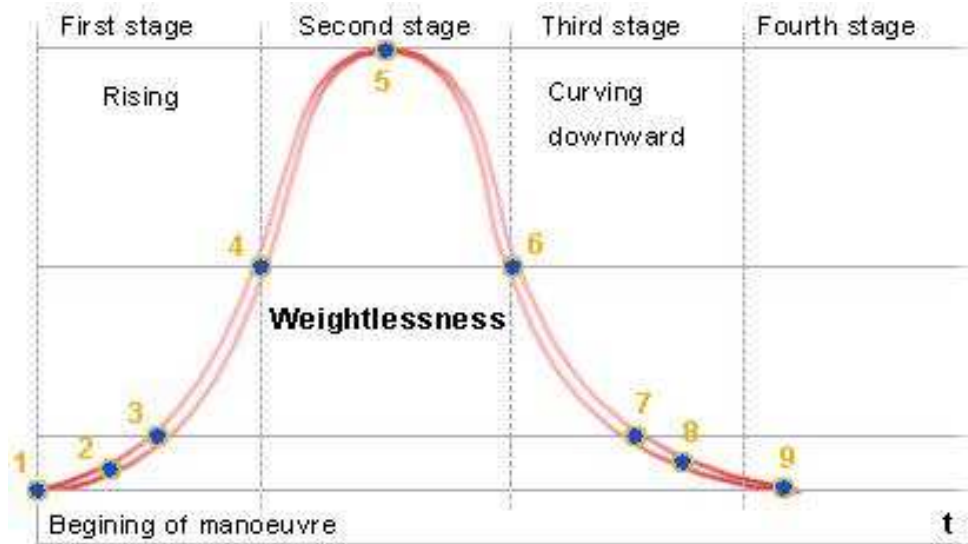


Figura 1.3: Suddivisione delle fasi della parabola

Stage	First			Second		Third		
Phase	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9
Name of the Phase	Transition	Pitch-up	Transition	Ascent	Descent	Transition	Leveling	Transition
G-load, Y axis	1.0-2.0	2.0	2.0-0.0	Ny=0, Nx=0		0.0-2.0	2.0	2.0-1.0
Duration, sec	20			20		20		

Figura 1.4: Tempi e accelerazioni nelle varie fasi

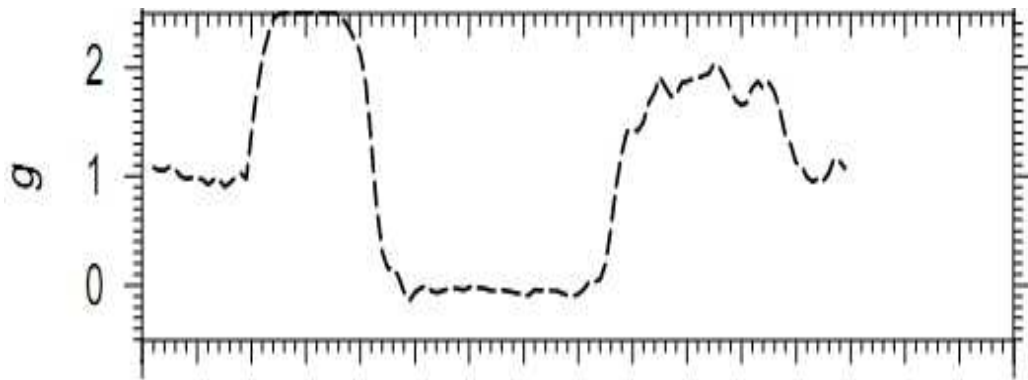


Figura 1.5: Diagramma delle accelerazioni in una generica parabola [Di Marco e Grassi, 1996]

una frequenza compresa fra 1 e 10Hz, come è stato rilevato durante una precedente campagna sperimentale. Dette perturbazioni sono dovute alle manovre di aggiustamento della traiettoria da parte del pilota e alla turbolenza atmosferica. Tramite accelerometri posti all'interno della fusoliera sono state misurate le suddette fluttuazioni; nella figura 1.5 sono mostrate quelle rilevate in una generica parabola e, più precisamente, quelle relative alla decima del terzo giorno della campagna sperimentale. Per comprendere meglio il fenomeno ci viene in aiuto anche il grafico in figura 1.6 da cui risultano evidenti perturbazioni di differente entità e valore nei vari assi.

É lecito supporre che tali fluttuazioni nelle accelerazioni (fenomeno meglio noto come g-jitter), assimilabili ad un leggero scuotimento, possono avere un effetto molto evidente sulla dinamica delle bolle. Deve essere trovato un modo per escludere o, almeno, ridurre l'effetto del g-jitter.

## 1.4 Free Floating experiment

Si ritiene che, evitando il contatto diretto con la struttura dell'aereo, si possa ridurre, se non eliminare, la trasmissione di queste fluttuazioni dell'accelerazione residua all'esperimento. Per evitare le suddette fluttuazioni è stato stabilito quindi di realizzare un pacchetto flottante. La logica del pacchetto flottante vuole che ogni cosa direttamente funzionale alla realizzazione e all'osservazione delle bolle non sia a contatto con l'aereo se non tramite cavi a bassa rigidità in modo da minimizzare la trasmissione di vibrazioni; ogni altra attrezzatura legata al controllo, alla registrazione dei dati e alla sicurezza operativa è opportuno porla in

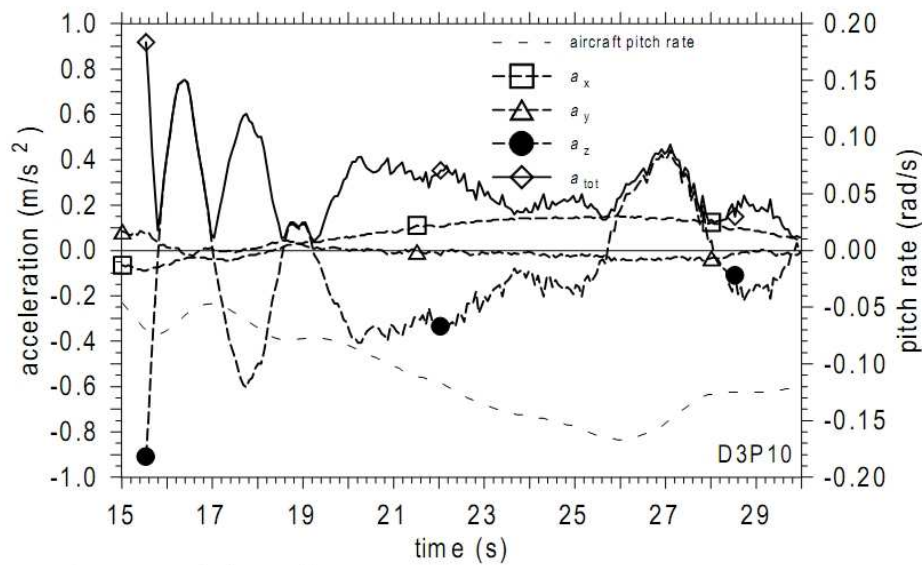


Figura 1.6: Accelerazioni in una generica parabola nella fase di microgravità [Di Marco e Grassi, 1996]

una struttura indipendente ancorata all'aereo. Così è nata la necessità di avere due unità distinte collegate fra loro essenzialmente tramite canali adatti alla trasmissione di dati; delle due unità una è necessario che sia fissa e una mobile. La struttura mobile, precedentemente denominata “pacchetto flottante” potrebbe comportarsi in due modi all'interno dell'area sperimentale dedicata nell'aero: essere libera di muoversi per tutto lo spazio consentito dalla fusoliera oppure essere rinchiusa in una gabbia. Per questioni di sicurezza e di maggiore facilità di controllo è stato preferito limitare la libertà di movimento del pacchetto flottante con una gabbia di contenimento. La gabbia di contenimento deve necessariamente venire incontro a due problemi in evidente conflitto: deve avere dimensioni limitate ma comunque congruenti con gli spazi necessari al movimento libero del pacchetto flottante durante la fase di microgravità.



# Capitolo 2

## Descrizione dell'esperimento

### 2.1 Introduzione

Come precedentemente fatto notare, prima di passare alla progettazione dell'attrezzatura sperimentale, è necessario una buona conoscenza dell'esperimento da compiere per non rischiare di disegnare qualcosa scarsamente funzionale alla ricerca sulla dinamica delle bolle. Per questo è stata necessaria una certa permanenza nel laboratorio per rendersi meglio conto delle necessità sperimentali e per familiarizzare con i mezzi utilizzati. In questo capitolo verrà descritto in cosa consiste l'esperimento vero e proprio e l'attrezzatura già presente all'interno del laboratorio, in quanto l'apparato sperimentale, oggetto della tesi, che deve svolgere le medesime funzioni, andrà riprogettato adattandolo alla microgravità.

### 2.2 Apparato sperimentale di laboratorio

Si può pensare di dividere tutto l'apparato necessario allo studio della dinamica delle bolle in vari gruppi di cui ovviamente andremo a descrivere il funzionamento. I gruppi principali possono essere pensati come:

- Sistema di generazione delle bolle
- Sistema di controllo e acquisizione dati
- Sistema di registrazione immagini

- Sistema di generazione del campo elettrico

Uno schema di massima è mostrato in figura 2.1.

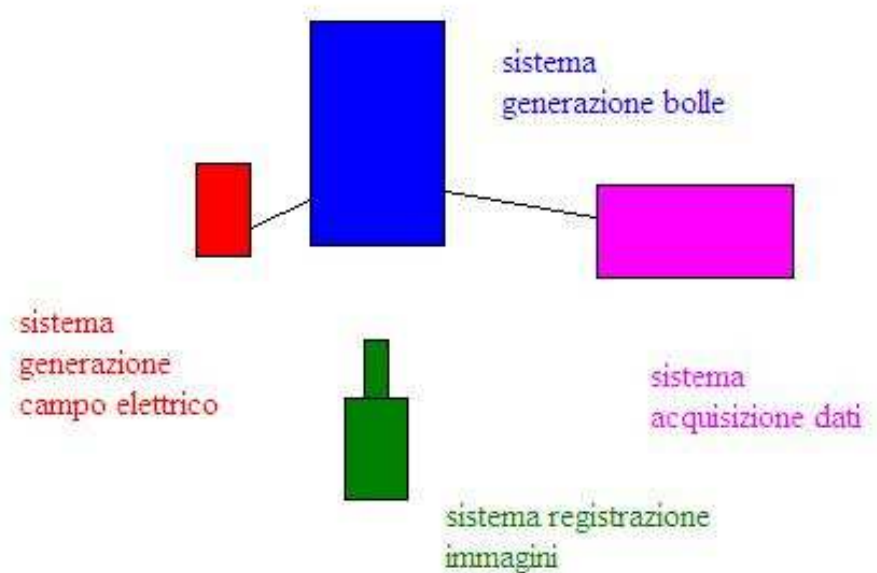


Figura 2.1: Schema di massima dell'apparato sperimentale

### 2.2.1 Sistema di generazione delle bolle

Questa risulta essere per così dire la culla dell' esperimento: infatti in questo gruppo si ha la nascita, la crescita e il successivo distacco delle bolle. É grazie a questo gruppo se può essere studiato in modo razionale il comportamento dinamico delle bolle di gas nel fluido. Questo è costituito da tre componenti fondamentali:

- organo emettitore di bolle
- scatola di tenuta del liquido
- gruppo adduzione gas

### **Organo emettitore di bolle**

Questo è un apparato fondamentale in quanto permette di regolare, tramite il diametro dell'orifizio la dimensione della bolla generata, inoltre ad esso è connessa la piastrina di generazione del campo elettrico. In laboratorio questo organo è costituito da un corpo forato al centro; il corpo può avere le forme più svariate: si hanno corpi cilindrici oppure parallelepipedali. Non è tanto importante la forma della parte inferiore dell'organo quanto la sua sommità che costituisce la superficie di generazione della bolla, essa deve essere piatta e lucida. Un altro fattore molto importante è costituito dal diametro del foro e della camera sottostante il foro in quanto questi sono fattori che in letteratura sono ritenuti co-responsabili insieme a tanti altri per la dinamica delle bolle. Si utilizzano fori di diametro  $0.1 - 0.3\text{mm}$ , ottenuti per elettroerosione. Il nostro organo infatti è costruito in modo da avere un foro alla sommità ma anche una zona di accumulo di gas immediatamente sotto al foro. Sulla superficie superiore dell'organo, qualunque sia la sua forma, si possono sempre notare 4 fori filettati aventi lo scopo di bloccare la piastrina responsabile della generazione del campo elettrico.

### **Scatola di contenimento del liquido**

In laboratorio sono presenti varie scatole di tenuta tutte in Lexan, materiale trasparente e resistente agli urti. Il coperchio superiore non è a tenuta e viene rimosso per inserire il liquido all'interno del recipiente. La parte intermedia è formata da un parallelepipedo a base quadrata ottenuto tramite l'incollaggio di pareti di Lexan spesse  $6\text{mm}$ . La base può essere di pezzo con la parte intermedia o essere separata da essa, unita tramite giunzioni flangiate. Dall'esperienza di laboratorio pare che la soluzione migliore per la scatola di tenuta sia quella di averla in tre pezzi distinti in modo da facilitare la pulizia e la manutenzione. Ogni scatola necessita di quattro – cinque fori distinti sul fondo per permettere l'inserimento del tubo emettitore di bolle, di termocoppie, di tubi adatti al riempimento-svuotamento e del cavo di alimentazione della piastrina emittitrice di campo elettrico. Nel caso di esperienza in volo parabolico, la scatola deve essere a tenuta.

### **Gruppo adduzione gas**

Questo gruppo ha lo scopo di far arrivare il gas all'interno della scatola di tenuta del liquido per permettere la generazione delle bolle. Ovviamente ha anche il compito di regolare la portata e la pressione di immissione del gas nel liquido, parametri importanti per lo studio

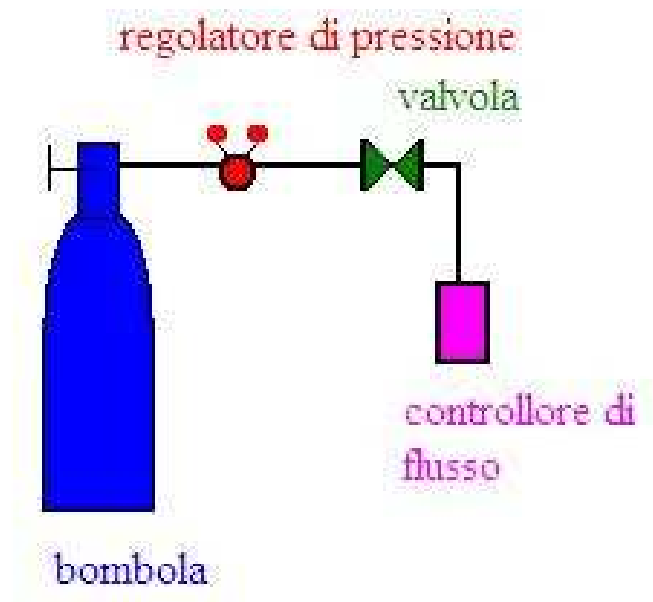


Figura 2.2: Schema del circuito del gas: dalla bombola al controllore di flusso

della bolla. È costituito da vari organi: una bombola con riduttore di pressione, una valvola e un controllore di flusso. La bombola presente in laboratorio è da cinque litri ed è ad una pressione di 10 atm, il riduttore di pressione è in bronzo a doppio manometro con regolazione manuale. Le connessioni fra i vari organi sono realizzate con tubi flessibili in silicone di diametro decrescente. Il controllore di flusso è a controllo digitale ed è in grado di regolare la portata in modo da mantenerla costantemente pari al valore desiderato. Uno schema del sistema di adduzione del gas può essere visto in figura 2.2

### 2.2.2 Sistema di controllo e acquisizione dati

Il sistema di controllo e acquisizione dati ha il compito di regolare i parametri sperimentali e acquisire ed immagazzinare le misure eseguite per la successiva elaborazione. Detto sistema è asservito ad un Pc; il suo sviluppo non fa parte del presente lavoro.

### 2.2.3 Sistema di generazione del campo elettrico

Questo è costituito essenzialmente da un generatore di tensione e da una piastrina. La piastrina è mantenuta tramite 4 viti in materiale isolante parallelamente ad una distanza prefissata dall'organo emettitore di bolle. Il fattore più importante che influenza la forma della piastrina è il fatto che debba generare un campo elettrico parallelo all'asse del foro di uscita del gas. La piastrina utilizzata in laboratorio è cruciforme: i punti di attacco delle viti sono le estremità della croce e il centro, con un opportuno foro serve per la generazione del campo e per permettere il passaggio delle bolle. Il campo elettrico viene generato imponendo una tensione continua fino a 30kV alla piastrina posta ad una distanza variabile fra 3 e 10mm. Il campo elettrico che si stabilisce fra la piastrina e la superficie ha come conseguenza la nascita di una forza sulla bolla stessa che, in condizioni opportune, ne genera il distacco [Di Marco e Grassi, 2007].

### 2.2.4 Sistema di registrazione immagini

Il sistema in esame è costituito essenzialmente da una fonte di illuminazione e da una telecamera per acquisire le immagini. La telecamera è una telecamera ad alta velocità Phantom V 4.0 della Vision Researchs. Questo tipo di telecamera permette di acquisire 4096 fotogrammi ad una velocità di 1000 fps ed una risoluzione di 512 x 512 pixel. Utilizzando la stessa telecamera ad una risoluzione ridotta, è possibile raggiungere fino a 30000 fp, diminuendo al contempo però il tempo di registrazione delle immagini, tempo legato alla disponibilità di memoria volatile (1Gb). Il numero di fotogrammi a disposizione si ottiene con la formula:

$$nf = \frac{1073741824}{pix \cdot piy} \quad (2.1)$$

dove px e py rappresentano rispettivamente la dimensione orizzontale e verticale dell'immagine acquisita. Ovviamente un limite alla frequenza della telecamera è posto anche dal tempo di esposizione: il sensore CCD ha una sensibilità paragonabile ad una pellicola da 400 ASA e il tempo di apertura dell'obiettivo non può ovviamente superare l'inverso della frequenza di registrazione. La luce necessaria al buon funzionamento della telecamera è fornita da una lampadina alogena da 150W funzionante a 12V. Per evitare il surriscaldamento della parete in lexan viene solitamente interposto un filtro a infrarossi e viene raffreddata la lampadina con una ventola. Per ripartire uniformemente la luce in modo da non visualizzare anche il

filamento incandescente e vari riflessi della lampadina si utilizza uno schermo diffondente fra la stessa e il bersaglio.

## 2.3 Fase sperimentale

L'esperimento in laboratorio consiste nel far fluire una certa e ben controllata quantità di gas dalla bombola fin dentro alla scatola riempita di liquido. Viene attivato il generatore di campo elettrico e vengono registrate le immagini delle bolle che nascono dal tubicino e si staccano da esso allo scopo di studiare il comportamento e le caratteristiche fisiche di queste ultime.

### 2.3.1 Set-up

Generalmente una serie di prove segue questo rigoroso ordine logico:

1. preparazione della scatola
2. introduzione del fluido scelto
3. messa a fuoco e bloccaggio della telecamera
4. acquisizione di un oggetto di riferimento per determinare il fattore di scala
5. acquisizione di un' immagine di sfondo
6. esecuzione delle prove, filmando lo scorrere delle bolle, variando la portata di azoto e l'intensità del campo elettrico
7. rilevamento della temperatura del liquido e di altri parametri per ogni valore di portata
8. rielaborazione dei filmati con il software

La fase preparatoria consiste essenzialmente nel fissare tutto al banco antivibrante, sistemare le luci, i vari sensori, posizionare la telecamera e allacciare il circuito di adduzione del gas. Successivamente si passa ad introdurre il fluido, la cui altezza è importante perché variandola cambia la pressione idrostatica sull'ugello. A questo punto si posiziona definitivamente la telecamera e si mette a fuoco sul bersaglio, ovviamente conoscendo le dimensioni del bersaglio

possiamo conoscere la dimensione reale corrispondente ad un pixel: informazione necessaria al successivo processing delle immagini. A questo punto si prende una foto dello sfondo senza oggetti né bolle presenti in modo da avere un'immagine di rumore da poter sottrarre a quelle ottenute durante l'esperimento. Ora può finalmente avere inizio l'acquisizione delle immagini.

### 2.3.2 Acquisizione dati

Una volta allestito il tutto siamo pronti per iniziare la fase sperimentale. Per prima cosa, utilizzando una termocoppia, si misura la temperatura dell'aria e con un barometro a colonnina di mercurio la sua pressione per poter riportare le portate massiche di gas misurate in volume. In seguito si interfacciano gli strumenti ad un PC: si collega il regolatore di flusso, il generatore di campo elettrico e le eventuali termocoppie ad una scheda di acquisizione dati. A questo punto facciamo partire il processo: si fa iniziare la fuoriuscita del gas e si inizia la rilevazione delle immagini via telecamera. Per ogni serie di prove a portata variabile si annota la portata, l'entità di campo elettrico, la temperatura e il nome del file associato alla prova. Anche per questa fase sperimentale può essere agevolmente individuato un'ordine logico di esecuzione delle operazioni:

1. si libera la memoria della telecamera
2. si regola la portata del gas
3. si fa partire la registrazione delle immagini e la contemporanea acquisizione dei dati provenienti dal gruppo regolatore e dal gruppo generatore di bolle
4. terminate le registrazioni si osservano le immagini per stabilire il numero di fotogrammi necessari allo studio di minimo quattro bolle
5. si salva un file contenente i fotogrammi necessari sotto forma di filmato

### 2.3.3 Analisi dati

A questo punto non resta che elaborare i dati ottenuti. Per prima cosa si scompone il filmato ricavato dalla telecamera in immagini (si passa da un solo file .cin per ogni prova

a svariati file .tif), le immagini così ottenute vengono salvate insieme alla foto fatta inizialmente allo sfondo nella medesima cartella. A questo punto con due programmi realizzati in MatLab si passa al processamento delle immagini. In uscita dai programmi si ottengono le informazioni sulle bolle presenti nel filmato sotto forma di valori medi: più bolle sono presenti nella registrazione maggiore sarà la corrispondenza dei risultati con la realtà. In uscita dal programma, in un opportuno file, otteniamo:

1. diametro medio della bolla
2. errore statistico sul diametro della bolla
3. volume medio di distacco della bolla
4. errore statistico sul volume della bolla
5. parametri relativi alla posizione del baricentro e agli assi di inerzia della bolla

Fatto questo si possono analizzare i dati del gruppo acquisizione e inserirli in un foglio Excel che calcoli parametri particolari dipendenti da dati acquisiti e correli quanto rilevato sperimentalmente con i parametri esterni di controllo.



# Capitolo 3

## Requisiti di sicurezza

### 3.1 introduzione

La Novespace fornisce 2 documenti [ESA PFC 1700-7b Iss 1 Apr 2007, MU-2007-1-en-D5] tali da “aiutare e supportare” il team di sperimentatori nella progettazione e nella realizzazione dei loro progetti. Come fatto giustamente notare la progettazione sotto condizioni di microgravità necessita di altri accorgimenti rispetto a quelli utilizzati in un laboratorio terrestre: si deve infatti venire incontro alle limitazioni imposte dall’ambiente dell’aereo e a tutte le restrizioni e norme di sicurezza legate al volo. Nel primo documento si delineano tutte le interfacce, si descrive l’ambiente di pertinenza dell’esperimento e si danno dei suggerimenti sulla costruzione dell’esperimento; il secondo documento è totalmente incentrato sulla sicurezza.

### 3.2 Politica di sicurezza

La campagna parabolica sull’A300 Zero-G è regolata in accordo con le procedure di sicurezza delineate dalla francese “Centre d’Essais en Vol”. Per la natura del programma sperimentale e per la sua unicità sono previste una serie di verifiche intermedie durante la progettazione.

#### 3.2.1 Gestione del rischio

Per la natura dell’ambiente a microgravità all’interno di un aeromobile si hanno condizioni di rischio nuove per chi è abituato a lavorare in un laboratorio con base a terra: per esempio ogni fluido non richiuso in recipienti stagni tende a fluttuare e può raggiungere le

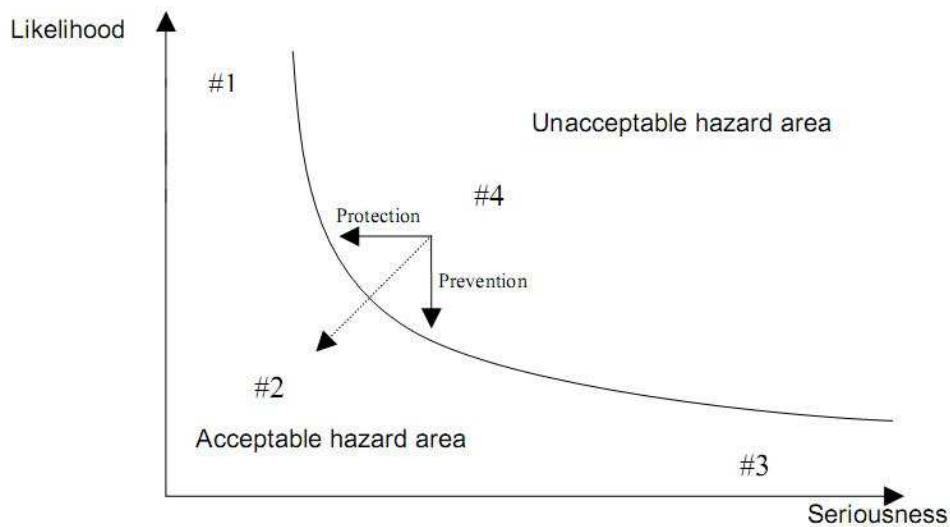


Figura 3.1: Divisione delle zone di rischio

apparecchiature e i passeggeri con effetti facilmente immaginabili. Un altro fatto molto importante è la mancanza del rimedio ultimo per ogni sperimentatore: se qualcosa va male non si può abbandonare il laboratorio, siamo in volo! Ovviamente dobbiamo pure considerare la mancanza di familiarità con l'assenza di gravità che può comportare una certa sensazione di straniamento e aumentare i tempi di reazione in caso di una situazione di pericolo.

Il rischio può essere definito come il prodotto della probabilità di accadere di un evento moltiplicata per la sua serietà: in questo modo se ne può determinare il grado di accettabilità; sono da escludere eventi catastrofici con probabilità alta ma anche eventi trascurabili con frequenza alta, le aree di accettabilità del rischio sono facilmente individuabili nella figura 3.1. Sono ammessi vari metodi per l'analisi del rischio provocato dall'esperimento, metodi ben conosciuti come il FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) e il FTA (Fault Tree Analysis) oppure qualsiasi altro metodo che offra le stesse garanzie di quelli sopra elencati. La Novespace rende disponibile anche una checklist per aiutare ad individuare le varie fonti di rischio.

### 3.2.2 Analisi preliminare di rischio

All'inizio della progettazione dell'esperimento viene richiesta una Preliminary Hazard Analysis (o PHA), con cui individuare le possibili fonti di rischio attribuendo loro una gravità, in



Figura 3.2: Sistema di riferimento dell'aereo

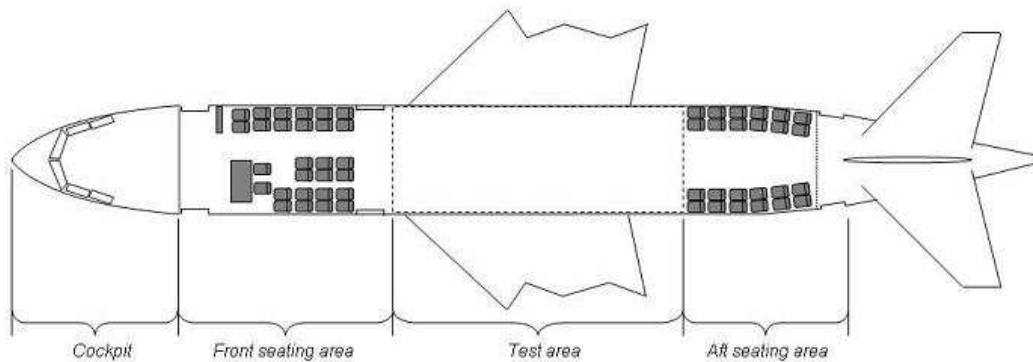


Figura 3.3: Divisione della fusoliera dell'aereo

un secondo momento si chiede di trovare una soluzione alternativa per eliminare o ridurre il possibile rischio o adottare delle protezioni adeguate.

### 3.3 Descrizione delle interfacce presenti sull'A300 Zero-G

#### 3.3.1 Dimensioni caratteristiche

Vengono definiti gli assi principali dell'aereo come si può vedere in figura 3.2. Confrontando le dimensioni trasversali della fusoliera (figura 3.4) con il portello d'entrata (1.07x1.93m) otteniamo le massime dimensioni dell'esperimento. La massima larghezza di attacco può essere considerata come quella fra due binari successivi e quindi quantificata in 503mm o 1006mm la lunghezza massima può essere valutata in circa 3 metri mentre l'altezza deve necessariamente essere minore di 1930mm.

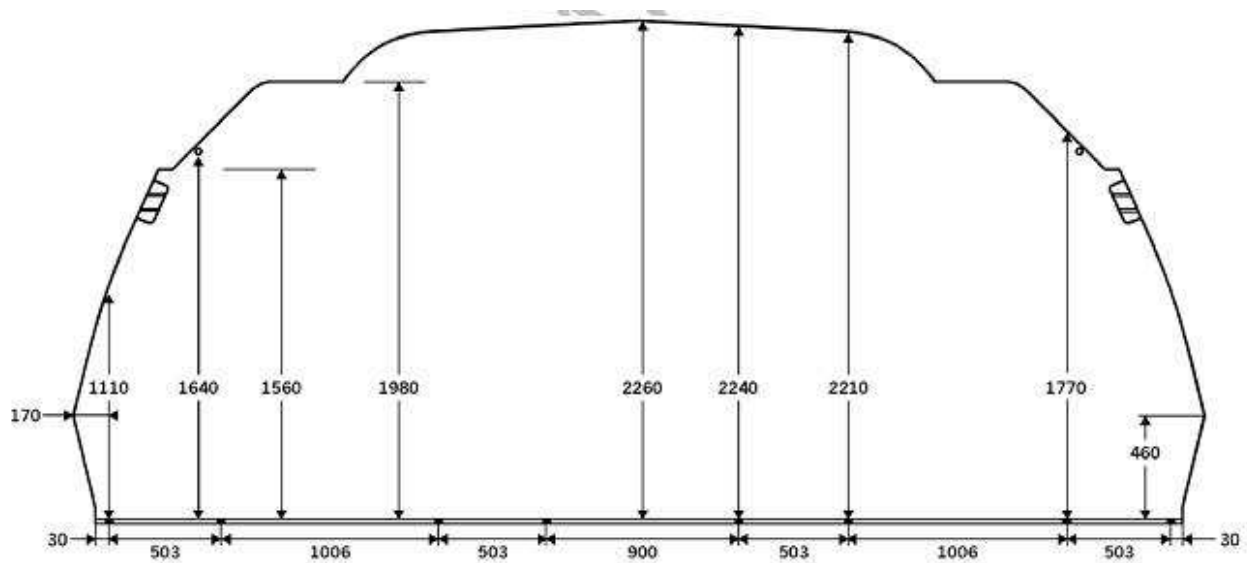


Figura 3.4: Sezione trasversale dell'area sperimentale

### 3.3.2 Ambiente di cabina

Durante il volo in cabina si hanno delle particolari condizioni ambientali da considerare nella fase di progetto: poco dopo il decollo la pressione interna cala a 825hPa mentre la temperatura che, durante la permanenza a terra, può variare dai 5 ai 40°C, in volo viene stabilizzata fra i 18 e i 25°C.

### 3.3.3 Interfaccia fra l'esperimento e il pavimento

L'aggancio al pavimento deve necessariamente essere realizzato tramite un sistema di attacco fornito dalla Novespace: sono fornite sia delle staffe che vanno a posizionarsi nei binari che le viti M10x1.25 per il collegamento della struttura alle staffe stesse; il tutto è visibile in figura 3.5. Da notare che i punti di attacco non sono continui sui binari ma distanziati fra loro di un pollice.

### 3.3.4 Altri tipi di interfaccia

L'ultimo tipo di interfaccia degno di interesse per la progettazione è il collegamento alla rete elettrica di bordo. La corrente necessaria per gli esperimenti può essere fornita dall'aereo,



Figura 3.5: Sistema di aggancio al pavimento

la distribuzione avviene tramite dieci quadri elettrici disposti lungo tutta la fusoliera, tali quadri possono fornire corrente a 220V a 50Hz oppure continua a 28V; le limitazioni sono di 8A per l'alternata e di 20A per la continua.

### 3.4 Requisiti e linee guida per la progettazione

La Novespace richiede che la progettazione dell'esperimento sia effettuata in modo che lo stesso non provochi nessun rischio neppure nel caso di mancanza di servizi sull'aereo quali la pressurizzazione della cabina e la mancanza di corrente elettrica. Viene fatto obbligo che la variazione fra configurazione di volo e di atterraggio si possa attuare in un minuto e da equipaggio non addestrato.

La Novespace richiede inoltre una verifica strutturale di ogni parte dell'esperimento.

Si impone che ogni esperimento sia racchiuso in un rack costruito come in figura 3.6 e rivestito di schiuma per evitare l'esposizione di superfici contudenti. Si dà la preferenza, per la costruzione del rack come delle altre parti strutturali dell'esperimento, all'utilizzo di elementi strutturali come i profilati in alluminio forniti dalla Rose-Krieger e altre ditte simili.

#### 3.4.1 Verifica strutturale

Per la verifica strutturale non è richiesta un'analisi approfondita ma vengono rilasciate delle linee guida: è richiesto di calcolare la massa  $M$  dell'esperimento omnicomprensiva e di determinarne il baricentro  $G$  ( $X_g, Y_g, Z_g$ ). Vanno poi verificate le strutture dell'esperimento, considerando il carico in volo come variabile fra  $0.1g$  e  $2g$ . Altro fatto da tenere conto in fase di progettazione è che l'esperimento deve essere in grado di sostenere i carichi dovuti ad un

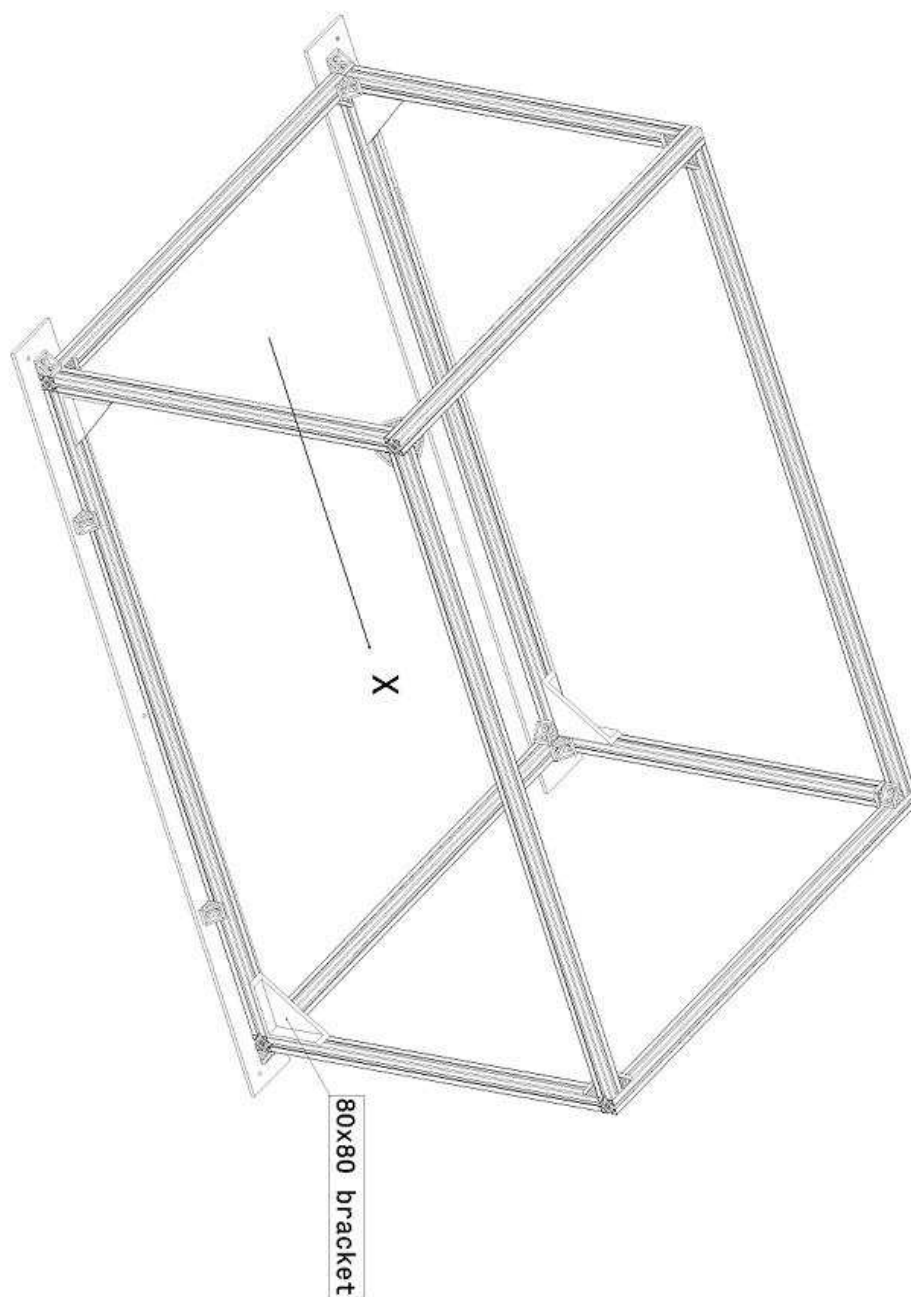


Figura 3.6: Rack suggerito dalla Novespace

Asse dell' aereo	Carico
+X	9g
-X	1.5g
+Y,-Y	3g
+Z	4.2g
-Z	7.3g

Tabella 3.1: Carichi nel caso di atterraggio di fortuna

Carico strutturale	Massimo carico sostenibile
Taglio	34800 N
Forza di trazione	58000 N

Tabella 3.2: Massimi carichi sostenibili dalle viti di attacco

atterraggio di fortuna con un coefficiente di sicurezza di almeno 1.5 (i carichi sono visibili in tabella 3.1).

### Verifica degli attacchi

Come precedentemente fatto notare gli attacchi dell'esperimento al pavimento sono consentiti solo tramite viti e bloccaggi forniti dalla Novespace, queste viti hanno dei carichi di resistenza riportati in tabella 3.2. È richiesto che le viti reggano solidalmente un carico di taglio pari a

$$F = 9g \cdot M$$

con un coefficiente di sicurezza di almeno 1.5. Un'ulteriore verifica richiesta sulle viti di attacco è quella dovuta all'impuntamento del rack sotto le condizioni di atterraggio d'emergenza. Seguendo quanto illustrato in figura 3.7 si arriva a calcolare il carico a trazione sostenuto da ogni singola vite di coda del rack come:

$$N = \frac{9g \cdot M \cdot H}{N_v \cdot D} + 28300$$

dove  $N_v$  rappresenta il numero delle viti posteriori e 28300N rappresenta il precarico su ciascuna vite dovuto al serraggio, anche qui il coefficiente di sicurezza minimo richiesto è pari a 1.5.

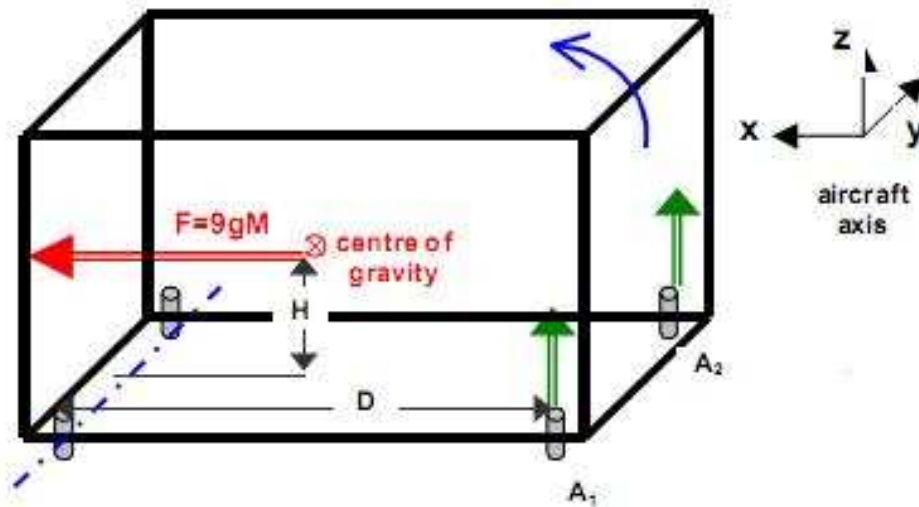


Figura 3.7: Schema dell'impuntamento del rack

### Verifica dei pieddritti

Viene richiesto che il momento flettente agente sulla base dei montanti a causa del carico massimo di atterraggio di emergenza (9g sull'asse X) venga sostenuto solidalmente dai vari montanti. Il momento su ogni montante può essere determinato in base alla seguente formula:

$$M_f = \frac{9g \cdot M \cdot H}{N_m}$$

dove con  $N_m$  si è indicato il numero di montanti. Questo valore va confrontato con il prodotto fra il modulo della sezione ( $W$ ) e la tensione di rottura dell'elemento strutturale ( $R_m$ ). Solo nel caso in cui i montanti non superino questo primo test è richiesta un'analisi agli elementi finiti.

### Requisiti strutturali sui binari

Poichè tutto l'esperimento viene collegato al pavimento dell'aereo tramite dei binari che sono progettati per sostenere le poltrone e non ad una struttura progettata appositamente, abbiamo le stesse limitazioni sui pesi sostenibili per ogni metro di binario che si hanno negli aerei commerciali. Il limite imposto dalla struttura è visibile in figura 3.8; comunque, in genere, il limite è di 981N per ogni metro di binario occupato.



		Distance between successive attachment points (inches, 1 inch=25,4 mm)			
		D < 3"	3"≤D≤7"	8" ≤D<20"	D≥20"
Height of center of gravity (mm)	H ≤ 670	Not allowed	$RL \leq 8733/H$	$RL \leq 23000/H$	$RL \leq 100kg$
	H > 670	Not allowed	Not allowed	Not allowed	$RL \leq 67000/H$

Figura 3.8: Limite al peso sostenibile dai binari

### 3.4.2 Particolari strutturali consigliati

La Novespace consiglia caldamente l'utilizzo di elementi strutturali fabbricati da compagnie quali la Rose-Krieger, Bosch, Item etc., inoltre esige che le viti utilizzate siano almeno di classe 8-8. Per quanto riguarda il telaio è assolutamente proibito utilizzare elementi piegati e saldature a meno che non siano eseguite da uno specialista e certificate come tali, inoltre è consigliato l'utilizzo di squadrette di rinforzo fornite dagli stessi costruttori degli elementi strutturali per la giunzione degli stessi. Lungo la base del rack e in special modo lungo l'asse X è fatto obbligo di porre come minimo quattro squadrette di rinforzo montate in modo che la vite di fissaggio all'elemento verticale sia passante.

Ovviamente anche tutto l'equipaggiamento attaccato al rack deve essere collegato in modo da resistere ad un atterraggio di emergenza. Per quanto riguarda le parti di equipaggiamento con massa inferiore a 1kg, possono essere fissate con cavi tipo il Tyrap zip; per quanto riguarda i restanti elementi di equipaggiamento, devono essere fissati al telaio mediante viti, non fanno eccezione i computer che vanno bloccati tramite staffe metalliche.

Gli eventuali recipienti sotto pressione (bombole di gas) vanno bloccati con due staffe e una squadretta, lasciando la testa accessibile e protetta da urti.

Tutti i materiali infiammabili e quelli fragili sono banditi dall'area sperimentale e devono essere sostituiti con materiali adatti: per esempio, al posto del legno viene suggerito l'utilizzo dell'alluminio, al posto del Plexiglas e del vetro quello del Lexan.

### 3.4.3 Suggerimenti per quanto riguarda l'area elettrica

Tutte le batterie utilizzate devono essere a secco o a gel. L'uso di batterie ricaricabili deve essere dichiarato in un apposito documento prima dell'imbarco. È necessario che per qualsiasi circuito elettrico si abbia un pulsante di arresto di emergenza che escluda tutto il circuito a valle. I cavi e il cordone di alimentazione devono essere ben connessi all'esperimento e ad una scatola elettrica necessaria se l'alimentazione deve essere fornita dall'aereo. Ogni esperimento deve avere un proprio pulsante di arresto, facilmente accessibile, in grado di escludere sia la fase che il neutro dell'alimentazione generale. Ogni circuito di ogni esperimento che richieda un'alimentazione con la 220V AC deve essere provvisto di salvavita tarato con una sovracorrente di 30mA. Ogni circuito elettrico, sia in corrente alternata che in corrente continua, deve essere provvisto di un fusibile da 20A per la continua e da 8A per l'alternata.

### 3.4.4 Politica riguardante i liquidi

Ogni liquido deve essere racchiuso da un doppio contenimento. Nel caso di depressurizzazione della cabina la pressione interna potrebbe diminuire fino a 300mbar, per cui ogni contenitore deve essere testato per resistere alla differenza di pressione creatasi. Nel caso in cui sia necessario l'accesso all'interno del contenimento esterno durante il volo è richiesto che tale intervento sia effettuato tramite guanti fissati al contenimento stesso.

### 3.4.5 Sistemi in pressione

Tutti i recipienti in pressione e tutti i sistemi pressurizzati utilizzati all'interno dell'aereo per finalità sperimentali devono essere certificati come sicuri. La sicurezza deve essere ottenuta tramite valvole di sfiato-sicurezza in posizioni adeguate, pressostati ben calibrati e con prove precedentemente effettuate. Ogni recipiente in pressione deve essere progettato con un coefficiente di sicurezza minimo di 2 e deve essere collaudato con una pressione pari ad 1.5 volte quella nominale dell'esperimento. Ogni recipiente sotto pressione contenente fluidi nocivi, infiammabili o corrosivi deve avere necessariamente un soffietto di espansione di dimensioni adeguate in cui far sfogare l'eventuale sovrappressione. Per sistemi pressurizzati contenenti fluidi infiammabili devono essere previste valvole di non ritorno per prevenire ogni ritorno di fiamma nel sistema di adduzione di aria nel caso di guasti. Ogni riduttore di pressione deve essere ben accessibile e non devono essere utilizzati per escludere il circuito in pressione,

compito che deve essere affidato a valvole. Tutte le parti flessibili di un dotto in pressione devono essere assicurate in modo da non creare rischi in caso di rottura accidentale.

### **3.4.6 Avvertenze riguardanti il free floating**

Come già detto possono essere effettuati due tipi di esperimenti in free-floating all'interno dell'aereo: il free floating normale e quello in gabbia. Per il free floating normale è imposta una massa massima di 10kg e il pacchetto flottante deve necessariamente essere legato tramite uno o più cordoni ombelicali alla struttura dell'aereo. L'unità flottante deve essere ricoperta di schiuma per evitare di ferire un membro del team sperimentatore o un altro passeggero. Durante la fase di decollo e atterraggio il pacchetto deve essere saldamente ancorato tramite cavi in grado di resistere ad un atterraggio di fortuna. Per quanto riguarda il free floating in a cage non vengono poste restrizioni sulla massa; è richiesto che la gabbia resista ad un urto accidentale del pacchetto e che il pacchetto sia bloccato nelle fasi di atterraggio e di decollo.

# Capitolo 4

## Progettazione

### 4.1 Introduzione

Per eseguire la progettazione si è dovuto operare in modo da gestire e alleviare adeguatamente il conflitto fra le esigenze sperimentali e i canoni strutturali e di sicurezza imposti dalla Novespace. La progressione logica della fase di progettazione è partita da quello che è il reale “cuore” dell’esperimento, ovvero la cella, per poi costruirle attorno tutta la struttura. In questo capitolo verranno illustrate le soluzioni adottate e la via attraverso la quale si è giunti ad adottarle, per quanto riguarda le verifiche strutturali si rimanda all’appendice.

### 4.2 Andamento storico

Nelle riunioni preliminari è stata presa in considerazione la possibilità di ottenere un’immagine della stessa bolla da due punti di vista differenti; per raggiungere questo scopo è stato deciso di utilizzare una sola telecamera e un sistema di specchi in modo da poter riprendere lo stesso bersaglio da due angolazioni. Si è scartata, invece, la soluzione consistente nell’utilizzare due telecamere orientate a  $90^\circ$  l’una rispetto all’altra, essenzialmente per ragioni di costo, legato all’acquisto di una nuova telecamera, ma anche per le difficoltà che si potrebbero avere per sincronizzare in modo adeguato le stesse telecamere fra di loro. È stata verificata la fattibilità di quanto richiesto tramite schemi ottici, fattibilità che poi è stata successivamente verificata in laboratorio. La progettazione della cella è legata all’esigenza di riprendere la bolla da due differenti angolazioni poiché questa influenza il numero di finestre minimo necessario

nella cella stessa. È facilmente comprensibile che per una ripresa da un'unica angolazione siano necessarie solo due finestre: una per fornire l'illuminazione retrostante necessaria e l'altra per dare accesso alla telecamera. Per avere una ripresa su due angolazioni, invece, servono almeno tre finestre: una sempre per garantire la necessaria illuminazione e le altre due per le riprese vere e proprie. Però, per motivi legati alla qualità dell'immagine, non è stato scelto di utilizzare tre sole finestre: si supposeva, infatti, che una sola fonte di luce non fosse sufficiente a garantire un'adeguata illuminazione; dati sperimentali hanno confermato questa supposizione. La cella necessita quindi di quattro finestre che si affaccino l'una di fronte all'altra in modo da consentire l'illuminazione in contrapposizione lungo entrambe le direzioni di visuale. Partendo da queste disposizioni, è stata scelta la forma quadrata come forma di base per la realizzazione della cella stessa. Definita la forma, si è passati a dover definire le dimensioni: per esigenze sperimentali queste dovrebbero essere le maggiori possibili per impedire che la bolla in formazione possa essere influenzata dalla vicinanza delle pareti, ma per esigenze di sicurezza si richiede che il liquido portato a bordo sia il minore possibile. Ovviamente siamo dovuti arrivare ad una mediazione, raggiunta sulla base di una misura di 94mm da finestra a finestra. Stabilite forma e dimensioni della cella, non restava che pensare alla progettazione della stessa che, però, è influenzata molto dall'utilizzo che ne viene fatto: il nostro primo pensiero è stato quello di realizzare una struttura flottante libera in fusoliera che per ragioni di sicurezza però non poteva superare i 10kg. Per questo è stato necessario capire bene cosa fosse indispensabile all'interno del pacchetto flottante e cosa invece potesse essere disposto in una struttura attaccata all'aereo. Sono state riconosciute come necessarie tutte e solo le parti funzionali alla creazione delle bolle e alla ripresa delle stesse. Per questo, è stato deciso di provare a progettare un pacchetto flottante con all'interno solamente la telecamera con il suo gruppo di specchi e di illuminazione, la cella con il suo circuito di adduzione del gas ed un doppio contenimento, necessario per ragioni di sicurezza. Le masse dei singoli componenti presenti in laboratorio sono visibili in tabella 4.1. All'attrezzatura di laboratorio, necessaria all'interno del pacchetto flottante, va aggiunto un gruppo illuminante, un gruppo di specchi, un rack protettivo e un doppio contenimento.

#### 4.2.1 Ricerca materiale

È facile capire che con l'attrezzatura presente in laboratorio non sia realizzabile un pacchetto flottante con massa minore di 10kg: bisogna necessariamente ridurre le masse dei

oggetto	massa
Telecamera	2.075
obiettivo	0.275
volume di espansione	0.84
bombola	1.62
riduttore di pressione	1.57
controllore di flusso	0.66
cella	4.9
liquido	3

Tabella 4.1: Masse delle attrezzature presenti in laboratorio

codice	vol(l)	P prova	P eser.	fil en-iso	filetto	D est.	h	massa	certificato
M06C	0.6	450bar	300bar	18P	M18x1.5	85	196	0.5kg	dic. cnf.

Tabella 4.2: Specifiche bombola (produttore: Matar s.r.l.)

componenti. Gli unici componenti imprescindibili sono la telecamera e l'obiettivo: l'acquisto di una nuova telecamera più leggera avrebbe costi proibitivi. Per prima cosa quindi si è cercato di lavorare sul materiale acquistabile dall'esterno per capire se fosse possibile rimanere nel budget di massa. Tramite varie ricerche su internet e consultando cataloghi di produttori ci siamo resi conto che il controllore di flusso in nostro possesso è in linea con i più leggeri presenti in commercio. Per quanto riguarda la bombola, se ne è trovata una (le cui specifiche sono visibili in tabella 4.2), provvista di tutta la documentazione e rispondente alle specifiche di sicurezza imposte dalla Novespace, realizzata in composito con una massa di 0.5kg e una capacità di 170 litri di aria. Il liquido necessario all'esperimento è stato ridotto dai 3kg della scatola presente in laboratorio a 0.83kg. Abbiamo trovato anche un riduttore di pressione di massa ridotta rispetto a quello presente in laboratorio, più specificatamente con una massa di 0.9kg. Grazie alla maggiore leggerezza dei componenti da acquistare abbiamo un certo margine di manovra per costruire il pacchetto flottante, rimanendo così dentro le specifiche.

### 4.2.2 Cella in fibra di carbonio

Per limitare al massimo il peso della cella si è pensato di realizzarne una in fibra di carbonio. Una versione del progetto della cella in composito, la cui resistenza è stata verificata con Ansys fino a 10bar con coefficiente di sicurezza 2, è visibile in figura 4.1. L'utilizzo della fibra di carbonio ha portato un risparmio in termini di massa notevole, siamo infatti passati a una

oggetto	massa in kg	masse aggiornate
telecamera e cavi	2.35	2.35
obiettivo	0.3	0.3
volume di espansione	0.84	da progettare
bombola	1.62	0.5
riduttore di pressione	1.57	0.9
controllore di flusso	0.66	0.66
cella	4.9	da progettare
liquido	3	0.83
doppio contenimento		da progettare
rack		da progettare
supporti vari		da progettare

Tabella 4.3: Masse aggiornate dopo la fase di ricerca del materiale da fornitori

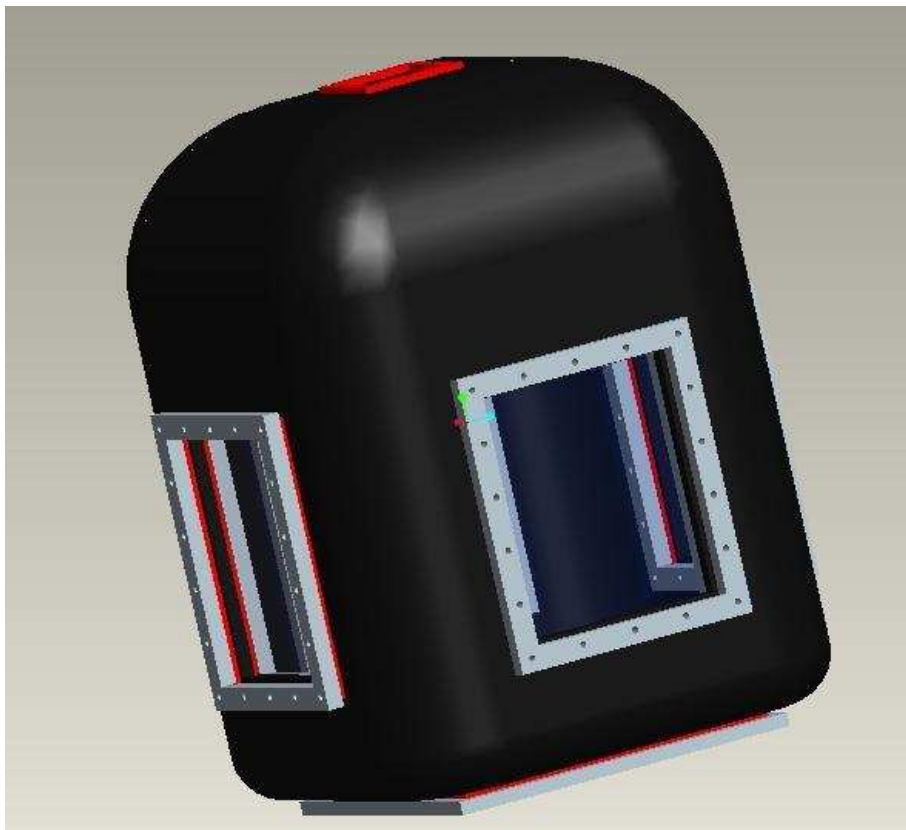


Figura 4.1: Cella in fibra di carbonio

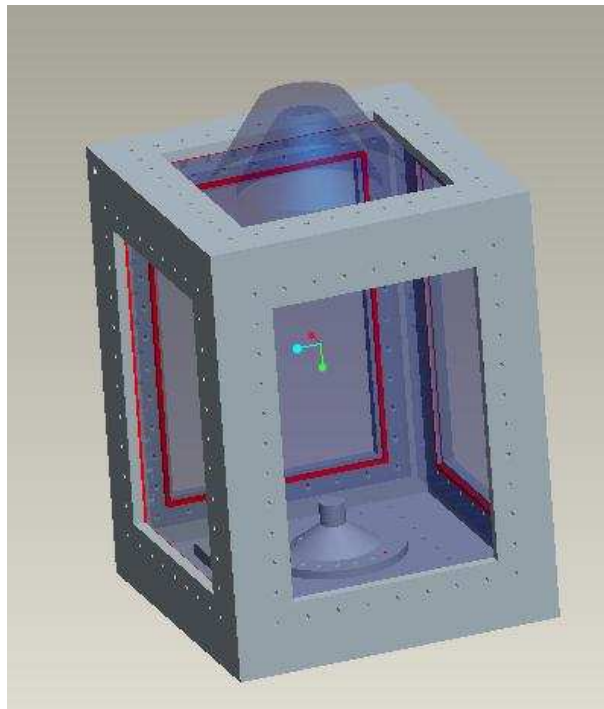


Figura 4.2: Cella in alluminio lavorata alle macchine utensili

massa di circa 150g per la cella completa realizzata in filament winding con fibra ad alta densità (1.8 g/cc) e alto modulo (400 GPa). Da un punto di vista strutturale e di progetto, a parte particolarità costruttive non proprio semplici da gestire, la cella in fibra di carbonio sarebbe una soluzione ottima: i problemi nascono a seguito di un'inchiesta sulla capacità realizzativa della cella stessa. Infatti non è stato possibile trovare in zona una ditta in grado di realizzare la cella con costi accettabili e di certificarne al contempo l'esecuzione a regola d'arte. Un altro problema, relativo alla cella in carbonio, è ovviamente legato alla sua intrinseca fragilità: in caso di incidente in volo, con un urto sulla cella stessa, si potrebbe verificare una rottura con perdita di liquido e conseguente sospensione dell'esperimento fino a sostituzione della cella. Per questi motivi è stata abbandonata l'idea della cella in composito per tornare alla progettazione di una cella realizzata con un materiale maggiormente convenzionale.

### 4.2.3 Cella in alluminio, prima versione

Abbiamo deciso quindi di utilizzare dell'alluminio in quanto si presta molto bene alla lavorazione alle macchine utensili ed ha una rigidità e una resistenza specifica assai elevata.



Per ragioni legate alla sicurezza operativa e alla difficoltà di reperimento di una fonderia specializzata in fusioni di alluminio, si è preferito pensare ad una realizzazione completamente alle macchine utensili. Una prima versione del progetto di una cella in alluminio, testata su Ansys fino a 10bar con coefficiente di sicurezza pari a 2, è visibile in figura 4.2; con questo tipo di cella arriviamo ad un ottimo risultato in termini di leggerezza, infatti si raggiungerebbero appena i 300g. La cella in oggetto però presenta comunque una serie di problemi: non danno molto affidamento le guarnizioni piatte inserite direttamente a contrasto con il lexan delle finestre poichè questo materiale, essendo estremamente flessibile, non garantisce in modo adeguato una ripartizione dei carichi, dovuti al serraggio delle viti, sulla guarnizione; inoltre forare il lexan per realizzare gli alloggiamenti delle viti con cui fissare le finestre stesse alla cella potrebbe risultare difficoltoso. La scatola così ottenuta risulterebbe di difficile pulizia e la soluzione pensata comporterebbe dei fori passanti filettati nella parete in alluminio, fori che andrebbero sigillati in un qualche modo. La soluzione migliore per sigillare dei filetti è l'utilizzo di speciali colle sigillanti che però non darebbero adeguate garanzie sulla mancanza di interazione con il liquido sperimentale.

#### 4.2.4 Cella in alluminio, seconda versione

Per tutti questi motivi è stato abbandonato anche lo sviluppo di questo tipo di cella per concentrarci nuovamente su qualcosa di maggiormente tradizionale: è stata così disegnata una cella, rispondente alle specifiche sperimentali e di sicurezza, con viti incassate, coprifinestre in grado di garantire un'equa ripartizione dei carichi dovuti al serraggio delle viti sulle finestre e da queste sulle guarnizioni, guarnizioni che, a loro volta, sono diventate da piatte o-ring i quali garantiscono una maggiore efficacia (la cella così disegnata è rappresentata in figura 4.3. Ovviamente questa cella comporta un utilizzo di materiale molto maggiore rispetto alle precedenti, si raggiunge infatti la massa di 1.08kg.

#### 4.2.5 Rinuncia al free floating libero

Grazie a questa cella possiamo farci nuovamente un'idea delle masse in gioco come si vede nella tabella 4.4 Con l'ausilio della tabella ci possiamo agevolmente rendere conto che il budget di massa a nostra disposizione per realizzare l'illuminazione, sistemare gli specchi in modo adeguato, realizzare il doppio contenimento richiesto e racchiudere il tutto in un rack protettivo risulta essere di soli 2.66kg. La telecamera da sola è lunga 420mm per cui



Figura 4.3: Cella in alluminio con viti incassate, coprifinestre e o-ring

oggetto	massa in kg	masse aggiornate
telecamera e cavi	2.35	2.35
obiettivo	0.3	0.3
volume di espansione	0.84	da progettare
bombola	1.62	0.5
riduttore di pressione	1.57	0.9
controllore di flusso	0.66	0.66
cella	4.9	1.08
liquido	3	0.83
doppio contenimento		da progettare
rack		da progettare
supporti vari		da progettare
massa totale		7.34

Tabella 4.4: Masse aggiornate dopo la fase di progettazione della cella

il rack protettivo dovrebbe almeno essere lungo quanto la telecamera stessa e, poichè deve essere costruito come un parallelepipedo attorno all'esperimento, necessariamente deve essere costituito da 4 travi lunghe almeno 500mm; dal sito della Rose-Krieger possiamo vedere che il profilato più leggero ha una massa di 1.3kg/m e quindi andremmo fuori budget con il solo rack, ne consegue che un approccio di free floating libero non sia attuabile con le limitazioni imposte dalla Novespace. Alla fine si è quindi optato per la realizzazione di un free floating limitato da una gabbia di contenimento, per il quale non sono previste delle limitazioni così stringenti in termini di massa accettabile.

#### 4.2.6 Free floating in a cage

Per la progettazione dell'esperimento in free floating confinato si è convenuto di adottare un approccio abbastanza simile a quello del pacchetto flottante libero: per prima cosa viene il disegno della cella. In seguito è progettato ciò che sta intorno alla cella ed è a questa vincolato per necessità sperimentali, quindi i sistemi di bloccaggio e di contenimento del pacchetto. Definita la struttura, siamo passati a stabilire dove piazzare l'attrezzatura di controllo e di acquisizione dati. L'idea di un puro free floating in gabbia però creava un po' di dubbi in quanto situazioni "strane" - fluttuazioni aberranti delle accelerazioni, inizio e fine della fase a microgravità e, comunque, qualsiasi possibile interazione del pacchetto con la gabbia - creerebbero un po' di difficoltà alla continuità del flusso di bolle. Per questo è stato stabilito di rendere possibile un controllo manuale del pacchetto flottante soprattutto nelle fasi di inizio e fine parabola. Il controllo manuale dovrebbe essere visto più che altro come una guida, un aiuto, per facilitare il distacco e il rientro del pacchetto flottante all'interno del suo alloggiamento e un'ulteriore sicurezza nell'evitare urti fra il pacchetto e la gabbia.

### 4.3 Vista d'insieme

Prima di andare a descrivere specificatamente le singole parti componenti l'attrezzatura sperimentale, sembra utile dare una visione d'insieme tale da permettere una più rapida comprensione di quanto è stato fatto. Si è realizzato una struttura, delimitata da profilati Rose-Krieger S40x40, tale da ammettere al suo interno un pacchetto flottante sede dell'esperimento, in grado di sostenere e fornire un adeguato alloggiamento a tutte le strumentazioni necessarie per il controllo e il monitoraggio dell'esperimento stesso. La struttura può essere

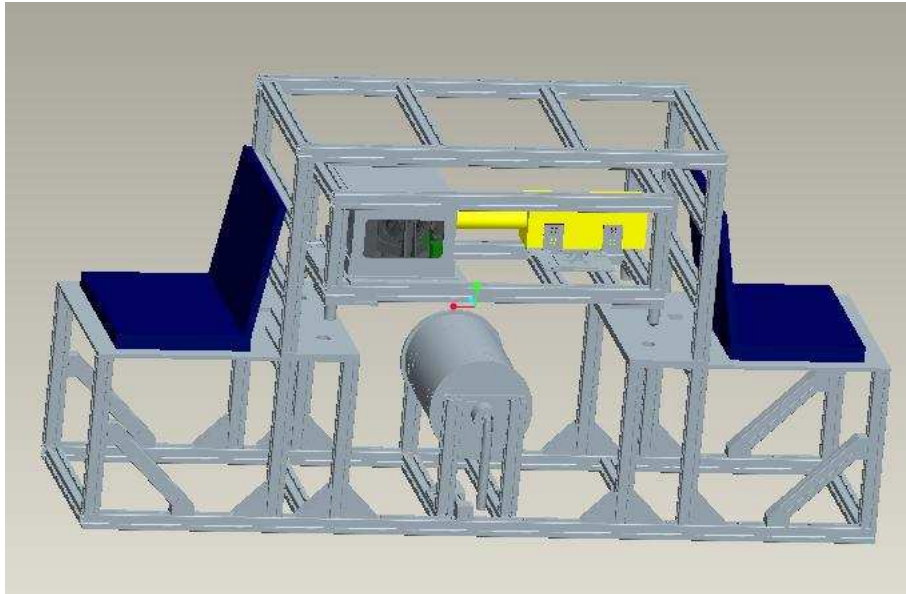


Figura 4.4: Vista dell'intera struttura

descritta come un parallelepipedo a sviluppo orizzontale con dimensioni 543x2000mm di base per 1006mm in altezza. Le estremità del parallelepipedo servono ad alloggiare i computer in modo da renderli facilmente accessibili al team degli sperimentatori, mentre la parte centrale è dedicata all'alloggiamento dell'esperimento e ai suoi sistemi di guida. Il tutto è visibile in figura 4.4

## 4.4 Cella

### 4.4.1 Requisiti

Le dimensioni e la forma della cella, come già visto, sono state definite come un parallelepipedo a base quadrata di lato 94mm fuori finestre. Con le basi dei tentativi di progetto, concepiti per il disegno della cella adatta ad un free floating puro, abbiamo ottenuto alcune utili indicazioni sulle necessità della cella:

- deve necessariamente essere eseguita per lavorazione alle macchine utensili da un pieno in alluminio
- deve essere di facile pulizia e facile assemblaggio

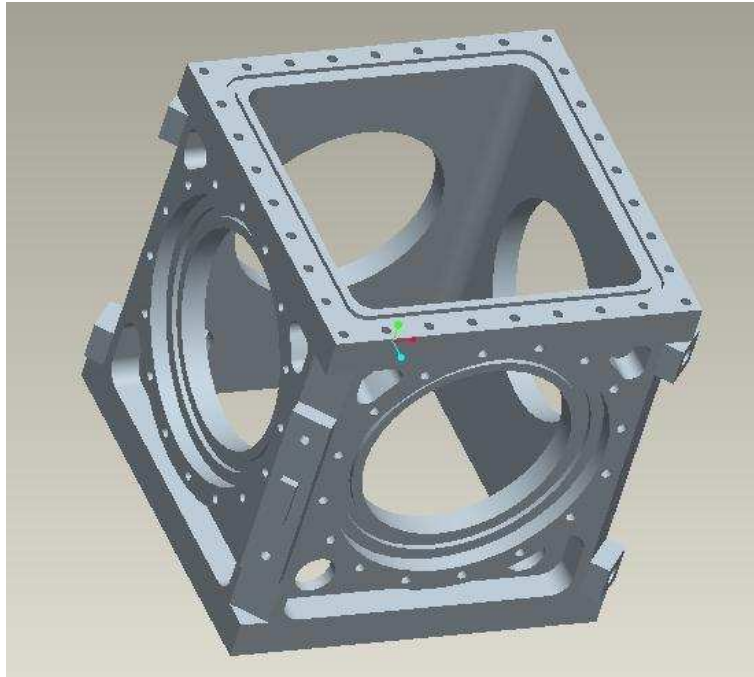


Figura 4.5: Corpo centrale della cella

- gli o-ring sono sempre da preferirsi ad ogni altro tipo di guarnizione
- il lexan non offre caratteristiche adeguate ad un'efficace distribuzione dei carichi delle viti, le finestre vanno quindi vincolate con flange di alluminio di spessore minimo 4mm
- le viti vanno sempre e comunque alloggiare in fori ciechi, non ci si fida di colle a tenuta sul filetto per le possibili interazioni col liquido sperimentale
- sulla parte superiore della cella deve necessariamente essere presente una cappa di raccolta del gas dalla quale, durante le fasi a gravità normale, poter spurgare il gas raccolto
- deve avere almeno 4 fori di penetrazione filettati gas, possibilmente vicino al fondo
- le finestre di lexan dovrebbero avere uno spessore minimo di 4mm
- le dimensioni minime interne assegnate sono 70x70x100

Con le limitazioni precedenti risulta subito evidente che il modo migliore per affrontare il problema sia di costruire una cella divisa in tre parti: due coperchi e una scatola. Dei

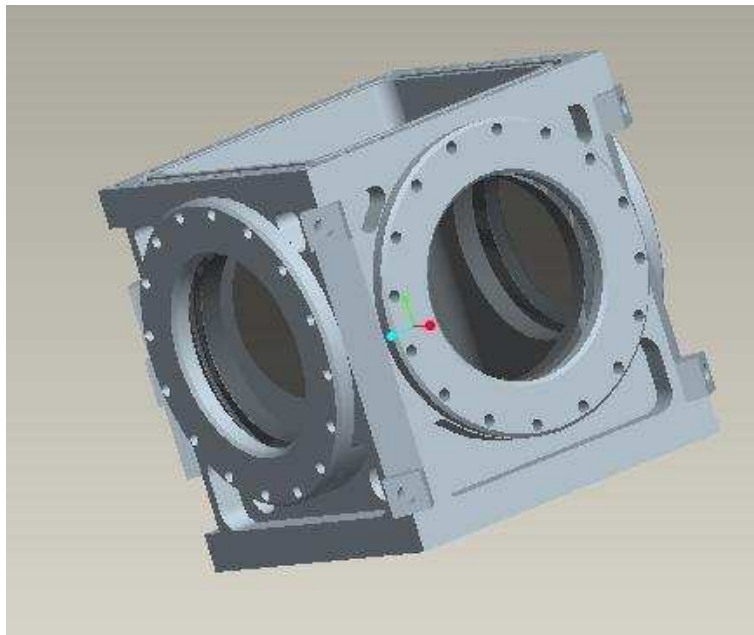


Figura 4.6: Corpo centrale con le finestre montate

due coperchi quello superiore ha il compito di fornire l'alloggiamento per la cappa con cui far evacuare il gas e quello inferiore il compito di sostenere l'organo emettitore di bolle. La scatola ha invece il compito principale di rendere visibile le bolle tramite le finestre.

#### 4.4.2 Corpo centrale

Il corpo centrale come è stato progettato è visibile in figura 4.5. Dalla figura si nota come i requisiti presenti siano stati soddisfatti: la forma delle finestre è stata cambiata dalla tradizionale rettangolare ad una circolare in quanto questa nuova configurazione permette di sfruttare ancora meglio i benefici legati all'utilizzo di o-ring. Tutte le viti necessarie al fissaggio delle finestre e dei coperchi sono in fori ciechi in modo da mantenere a contatto con il liquido interno solo l'alluminio e il lexan; per questo lo spessore delle pareti è stato portato a 10mm, la misura minima per la realizzazione di un foro cieco filettato M3. Si è pensato di mettere le finestre incassate dall'esterno, contravvenendo a ragioni strutturali, sia per venire incontro alla facilità di assemblaggio, sia per massimizzare la facilità di pulizia della cella: con un maggior numero di nicchie interne si avrebbero ovviamente maggiori difficoltà nell'accessibilità e, di conseguenza, nella possibilità di pulire. Con la soluzione delle finestre esterne, invece, basta

rimuovere le finestre e i coperchi, dopo aver ovviamente svuotato la cella, per pulire facilmente tutto il corpo centrale con l'utilizzo di un panno, infatti la superficie rimasta è liscia e non presenta zone d'ombra. Le cave per gli o-ring sono state dimensionate in base a quanto previsto dai produttori. La disposizione delle viti e la loro quantità è sovrabbondante rispetto alle necessità reali, ma ne sono state utilizzate in così grande numero per avere maggiori garanzie di tenuta sulle flange e non per assolvere ai meri compiti strutturali. Per quanto riguarda le dimensioni, si è optato per la realizzazione di una scatola con ingombro esterno di 94x94x100, lasciando uno spazio interno indisturbato per lo sviluppo delle bolle di 74x74x100, spazio che si suppone, in accordo con dati sperimentali, più che sufficiente per le necessità. Le finestre sono state realizzate di maggiori dimensioni possibili sia per aumentare la leggerezza della struttura sia per ragioni di osservabilità visiva del fenomeno: per le necessità sperimentali sarebbero sufficienti delle finestre di 20mm di diametro. Da esperienze precedenti, come già detto, è stato notato che delle viti direttamente sul lexan non riescono a ripartire in modo uniforme il loro serraggio su di una guarnizione sottostante, per questo siamo costretti a utilizzare una flangia in alluminio da sovrapporre alle finestre in modo da ripartire uniformemente il carico sulla guarnizione. Questa flangia, da calcoli suffragati dall'esperienza deve almeno ricoprire la guarnizione sottostante il lexan, si è preferito farla sporgere di 4mm. L'aspetto del corpo centrale della cella, con le finestre montate, è visibile in figura 4.6.

Da un punto di vista tecnologico è pensabile costruire il corpo centrale tramite operazioni di fresatura a partire da un estruso in alluminio e, più precisamente, un estruso tubolare a sezione quadrata di dimensioni esterne 3.75 pollici (95.25mm) e interne 2.75 pollici (69.85mm). Nel progetto sono previsti degli alleggerimenti che non hanno alcun compito strutturale e quindi potrebbero essere omessi se comportassero un aggravio eccessivo da un punto di vista economico: il solo problema potrebbe essere rappresentato da un certo appesantimento quantificabile in circa 0.27kg.

#### 4.4.3 Coperchio superiore

Il coperchio superiore (visibile in figura 4.7) come dicevamo è funzionale, oltre che per ovvie ragioni di tenuta, all'alloggiamento di una cappa con cui evacuare il gas presente nella cella. Alla fine di ogni parabola sarebbe auspicabile poter evacuare il gas immesso per la creazione delle bolle in modo da avere una cella in condizioni ottimali ad ogni nuova fase di microgravità. Per far ciò si è pensato di realizzare una cappa conica sulla cima della cella

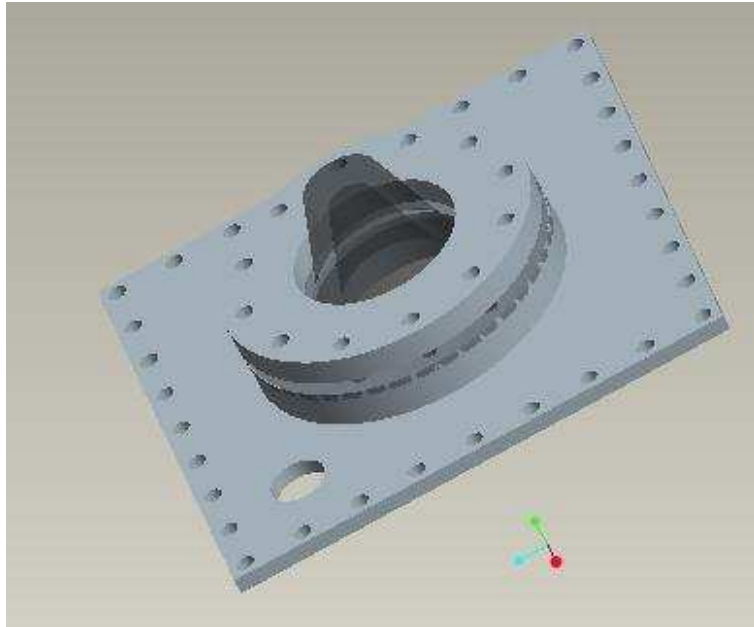


Figura 4.7: Coperchio superiore con la cappa

dove, in una fase a gravità normale, si possa raccogliere il gas e da lì possa essere evacuato tramite una valvola e riversato in un vaso di espansione. Si è pensato di ricavare un coperchio in alluminio, piatto nella parte inferiore, con un foro al centro e una cappa conica superiore in lexan, per garantire la visibilità del liquido e del gas nella fase di svuotamento. Per gli stessi motivi illustrati nel paragrafo precedente la cappa deve essere controflangiata con una flangia di alluminio. Il coperchio deve avere anche un altro foro per permettere l'alloggiamento di un pezzo di strumentazione.

#### 4.4.4 Coperchio inferiore

Il coperchio inferiore, per quanto riguarda l'esperimento, ha lo scopo di sostenere l'organo per l'adduzione del gas e l'elettrodo per la generazione del campo elettrico e permettere l'accesso alla cella di strumentazione, per mezzo di 4 fori G1/8. Da un punto di vista strutturale serve a sostenere la cella e a collegarla, unitamente ad altri componenti, alla piastra di base su cui si va ad attaccare il doppio contenimento. Il coperchio inferiore presenta dei fori in cui collegare dei piedini di sostegno che hanno il compito di agire da distanziali rispetto alla piastra di base del doppio contenimento e di riferire la cella. Dei quattro piedini, due solamente hanno una doppia spina, i restanti servono solo come distanziali. La lunghezza di questi piedini è stata



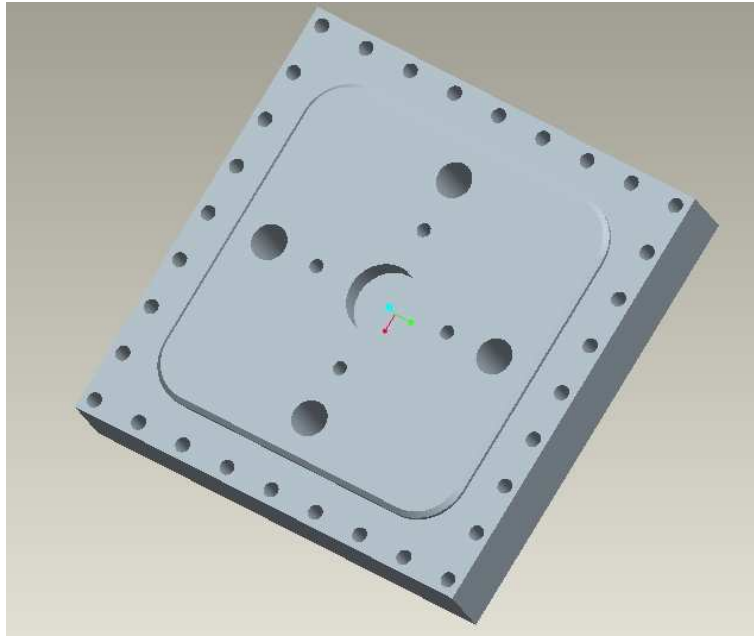


Figura 4.8: Vista del coperchio inferiore

dimensionata come la minima necessaria per permettere l'accesso al fondo della cella. Molto importante ai fini sperimentali e, più precisamente, per considerazioni ottiche è il fatto che il gruppo di generazione delle bolle sia al centro della scatola e ben riferito rispetto al gruppo degli specchi. Abbiamo risolto questo problema riferendo, per mezzo un doppio centraggio, il gruppo di generazione delle bolle al corpo centrale della cella al quale, a sua volta, è vincolato con guide prismatiche il gruppo di sostegno degli specchi. Il tappo inferiore è visibile in figura 4.8.

#### 4.4.5 Organo di generazione della bolla

Si è proceduto a disegnare questo particolare seguendo le indicazioni offerte dai dispositivi analoghi presenti in laboratorio. Poichè i suoi scopi principali sono generare la bolla in esame, fornire supporto alla piastrina per la creazione del campo elettrico e riferire, tramite un opportuno centraggio, la scatola al punto di generazione della bolla stessa, si è pensato di realizzarlo come un solido di rivoluzione, come visibile in figura 4.9. Il centraggio è ottenuto mediante la superficie di base dell'organo che si va ad inserire in un apposito alloggiamento realizzato nel coperchio inferiore. Il gas viene portato alla camera sottostante il forellino da

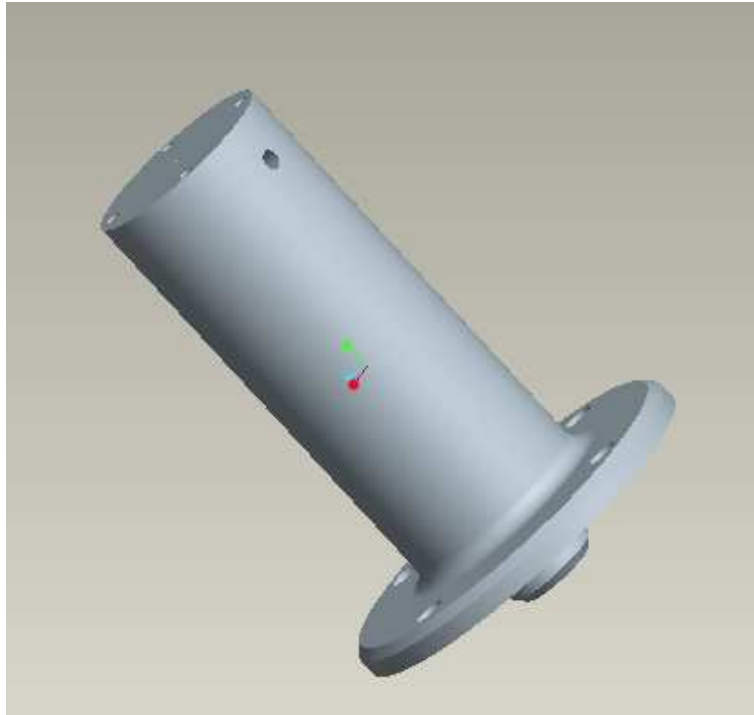


Figura 4.9: Vista dell'organo di generazione della bolla

cui si stacca la bolla con un tubicino che entra nella cella da uno dei quattro fori con filettatura gas realizzati nel coperchio inferiore. La superficie superiore del cilindro è fornita di quattro fori adatti all'alloggiamento e al sostegno della piastrina di generazione del campo elettrico.

#### 4.4.6 Assieme e assemblaggio

La cella viene assemblata tramite viti M3, nelle giunture si realizzano delle cave per l'alloggiamento degli o-ring in modo da garantire una buona tenuta. Un esploso della cella stessa è visibile in figura 4.10.

### 4.5 Gruppo ottico

#### 4.5.1 Pre-progettazione

Per gli scopi dell'esperimento sono necessari 3 componenti, un prisma in grado di dividere il raggio ottico e due specchietti per dirigere lo stesso verso il bersaglio. Uno schema di

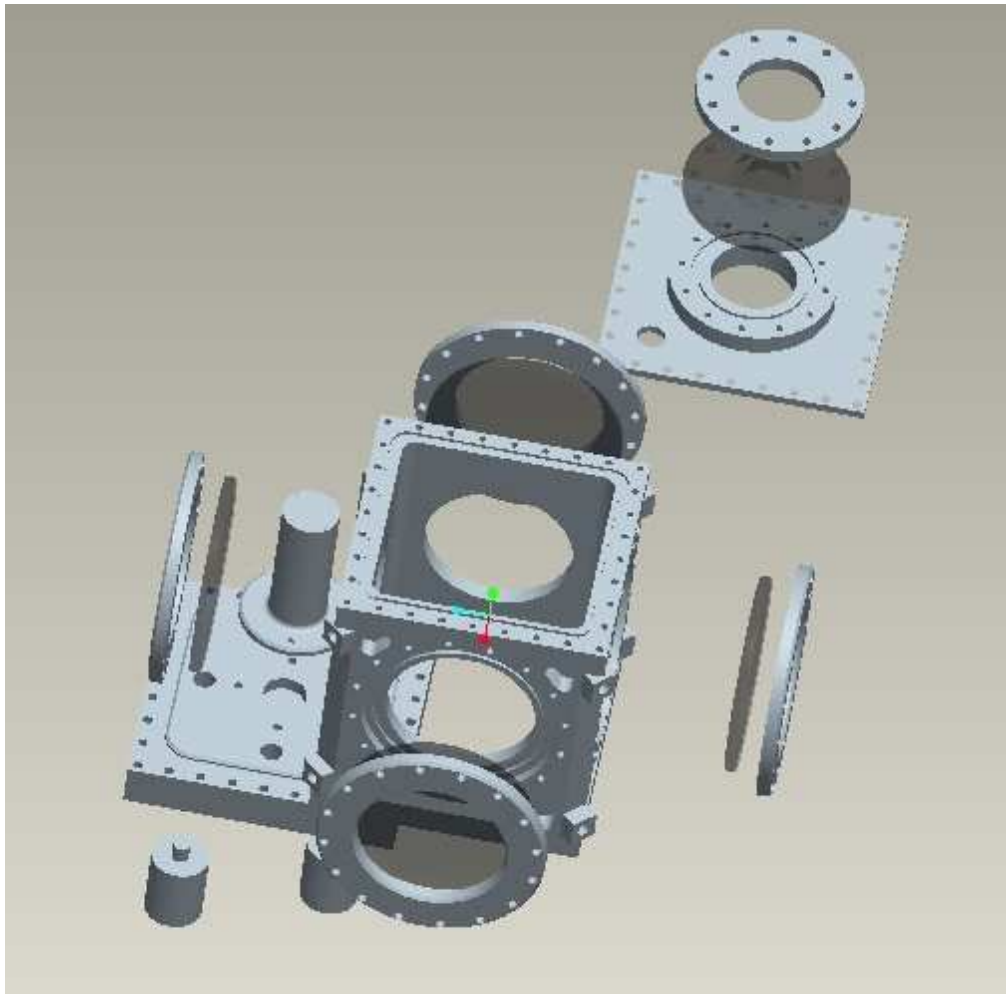


Figura 4.10: Esploso della cella

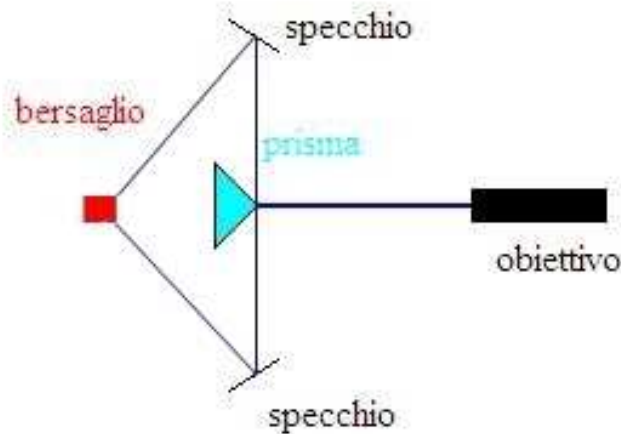


Figura 4.11: Schema di massima del posizionamento degli specchi

massima del funzionamento del gruppo ottico può essere visibile in 4.11. È stato deciso di utilizzare un numero minimo di specchi per minimizzare la perdita di luminosità associata alla riflessione: difatti nessuno specchio è in grado di riflettere perfettamente con un rendimento unitario. L'importante per lo scopo dell'esperimento è che il bersaglio sia acquisito frontalmente e centrato: questo si può ottenere facilmente con l'attrezzatura indicata in precedenza. Per acquistare un po' di dimestichezza con l'utilizzo degli specchi e dei prismi, prima della progettazione vera e propria e per rendersi conto della fattibilità dell'acquisizione di immagini di una stessa bolla da due punti di vista, è stato approntato in laboratorio un sistema ottico funzionante, realizzato con materiale già presente. Dopo alcune difficoltà iniziali legate alla scarsa dimestichezza con le minime regolazioni necessarie in questo ambito si è notato che è perfettamente fattibile una soluzione tale da permettere la visione bilaterale di una bolla.

### 4.5.2 Realizzazione

La soluzione migliore per sistemare reciprocamente gli specchi e il prisma, rendere il settaggio definitivo e fisso una volta realizzato, è sicuramente quella di assemblare gli specchi e il prisma in uno stesso alloggiamento. Tale soluzione è visibile in figura 4.12, dove sono messe in evidenza le guide, necessarie per eventuali regolazioni, in vista.

Si preferisce che il sistema non sia disegnato fisso per permettere delle regolazioni differenti

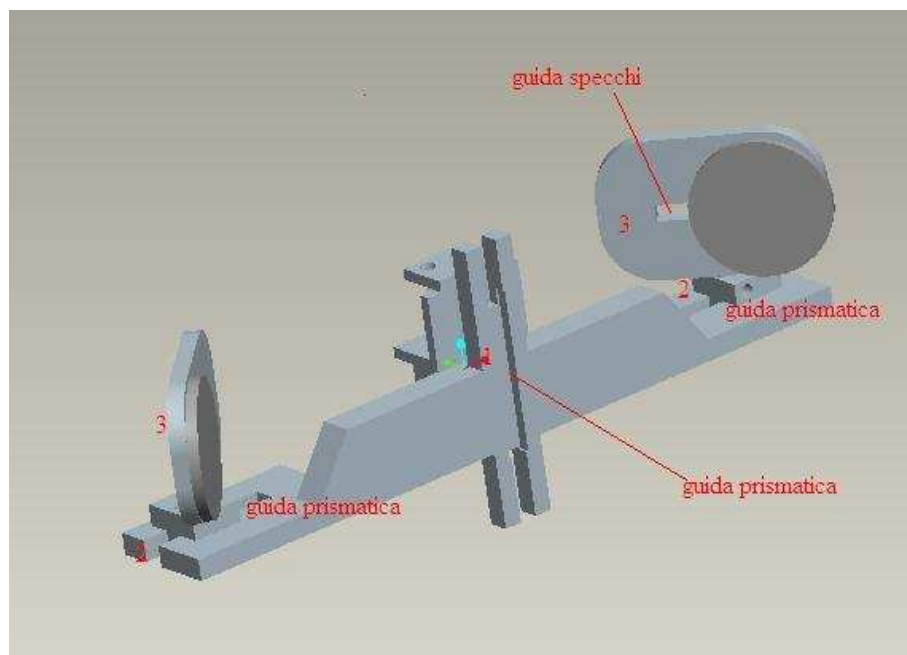


Figura 4.12: Gruppo specchi vista frontale

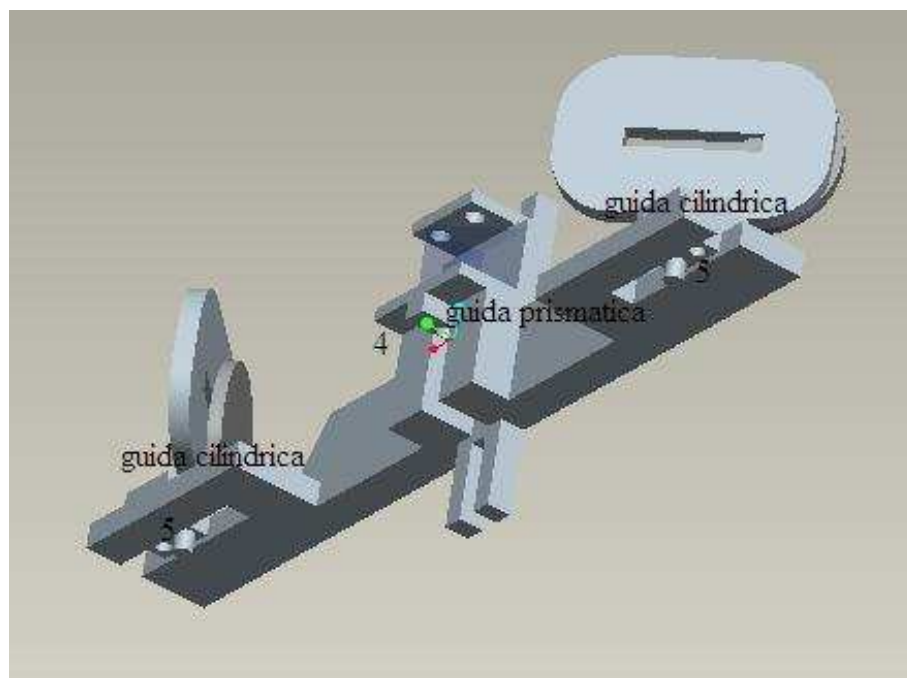


Figura 4.13: Gruppo specchi vista posteriore

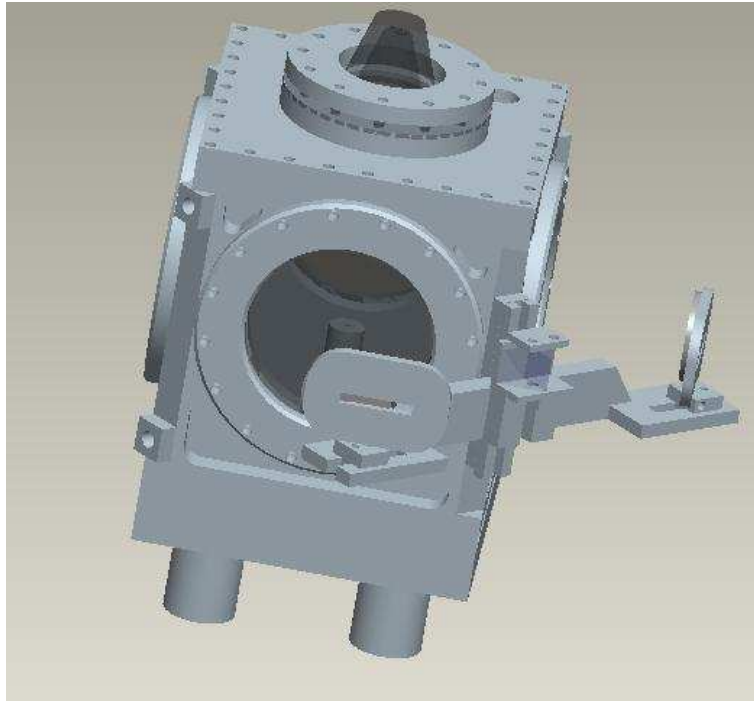


Figura 4.14: Assemblaggio della cella insieme al gruppo specchi

e dei settaggi ulteriori, ciò è auspicabile anche e soprattutto perché l'attrezzatura disegnata sarebbe nuovamente utilizzabile in caso di cambio di obiettivo della telecamera e di organo emettitore di bolle all'interno della cella. Per questo motivo si pone la condizione che tutto il gruppo specchi sia riferito all'organo generatore di bolle, che gli specchi siano regolabili in altezza, angolazione e distanza dal prisma e che la profondità del prisma sia a sua volta regolabile. Il primo requisito si ottiene creando una guida prismatica sulla scatola centrale in modo da garantire che il gruppo generatore di bolle sia esattamente in linea con il prisma e centrato rispetto agli specchi. La guida prismatica centrale indicata con (1) è quella responsabile della regolazione in altezza dell'intero gruppo, le guide indicate con (2) sono invece imputate alla regolazione della distanza degli specchi dal prisma, quelle indicate con (3) invece servono a centrare gli specchi rispetto al prisma. Un'ulteriore vista del gruppo specchi è visibile in figura 4.13, in cui si individuano altre tre guide, la (4) è responsabile della regolazione assiale del prisma rispetto all'obiettivo della telecamera. Le guide (5), essendo cilindriche, possono permettere la rotazione degli specchi e la regolazione in altezza degli stessi e vengono bloccate da una vite perpendicolare al perno. Il resto è tutto bloccato tramite viti che, serrandosi

sulle guide per attrito, impediscono eventuali traslazioni e rotazioni. La soluzione della cella unitamente al gruppo specchi è visibile in figura 4.14.

## 4.6 Assemblaggio del pacchetto flottante

Come detto in precedenza all'interno del pacchetto flottante sono necessari i seguenti oggetti: cella, gruppo specchi, telecamera, circuito del gas, batteria per l'alimentazione del campo elettrico, punti di luce e doppio contenimento, uno schema di massima del pacchetto flottante è visibile in figura 4.16.

### 4.6.1 Doppio contenimento

All'interno del doppio contenimento, come da precise indicazioni della Novespace, si devono trovare tutte le parti a contatto con il liquido, per le nostre esigenze si è deciso di porvi anche gli illuminatori, il generatore di alimentazione del campo elettrico e il gruppo regolatore di flusso. Per fissare in modo adeguato la cella e gli altri oggetti all'interno del doppio contenimento, si è deciso di creare una base per mezzo di una piastra di alluminio di spessore 10mm in modo da potervi ricavare dei fori ciechi per il fissaggio delle attrezzature. Si è pensato di fissare la cella con 3 staffe che la colleghino alla piastra di base; le staffe sono ovviamente attaccate sui lati lasciati liberi, dopo aver posizionato il gruppo specchi. La cella viene riferita alla piastra inferiore del doppio contenimento per mezzo di quattro distanziali, due dei quali con spina passante, in modo da renderne certo il posizionamento anche longitudinalmente oltre che verticalmente. Alla piastra viene fissata la struttura del doppio contenimento per mezzo di viti, mentre la tenuta è garantita sempre da guarnizioni, questa volta piatte, che assolvono al loro compito minimizzando il costo. Il tubicino che porta il gas dalla bombola attraverso il riduttore di pressione e il successivo regolatore di flusso viene interrotto all'altezza del doppio contenimento con una valvola di non ritorno per impedire dei ritorni di fluido all'esterno, tutti i cavi necessari per il corretto svolgimento dell'esperimento (alimentazione delle fonti illuminanti, gestione del segnale della termocoppia, cavo di controllo dell'elettrovalvola deputata allo svuotamento della cappa del gas, eventuale cavo di controllo del campo elettrico) sono fatti passare da passacavi a tenuta.

Il doppio contenimento (figura 4.15) è realizzato assemblando varie piastre di alluminio collegate fra loro con viti e sigillate con colle. Si è scelta questa soluzione fra le molte esistenti

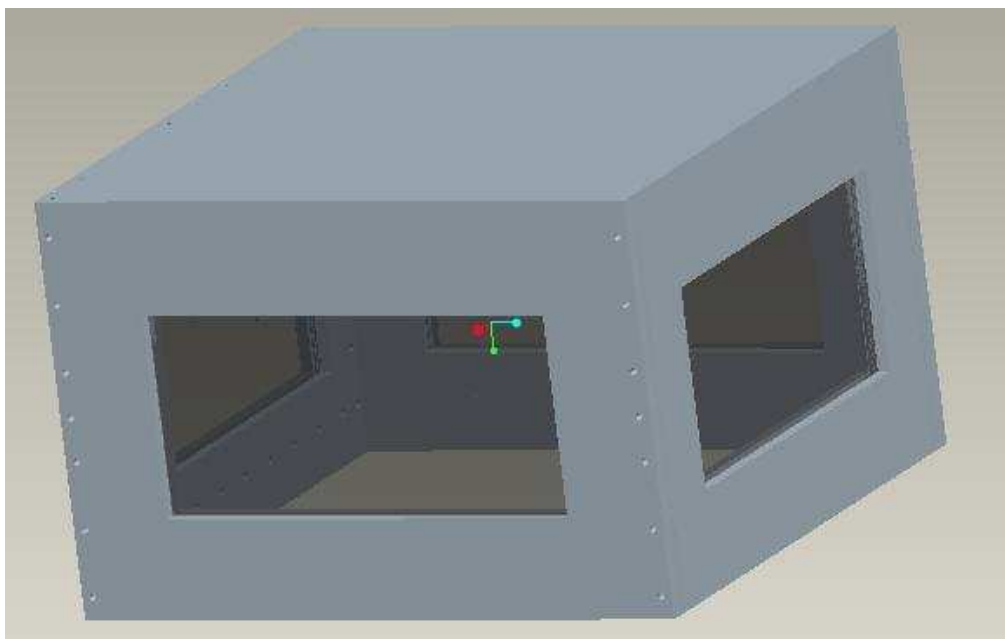
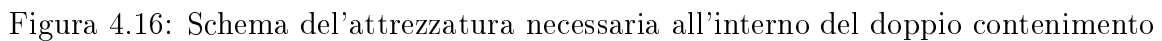


Figura 4.15: Vista del doppio contenimento

perché permette un risparmio notevole da un punto di vista economico e poichè, in caso di rottura del primo contenimento, l'eventuale contatto fra la colla sigillante e il liquido sperimentale sarebbe di breve durata (al massimo quella di un volo): non ci sarebbero interazioni fra la colla e il liquido sperimentale tali da compromettere la tenuta delle giunzioni. Come specificato nei requisiti di sicurezza, non vengono accettate saldature e incollaggi realizzati per assolvere compiti strutturali, per questo si è optato per l'utilizzo della combinazione viti e colla in quanto tale scelta ci permette un'adeguata ripartizione dei compiti: quello strutturale si affida alle viti, quello meramente sigillante alla colla. La realizzazione del doppio contenimento è abbastanza lunga ma economica: si preparano quattro piastre rettangolari di spessore 10mm, si creano gli alloggiamenti per incassarvi le finestre e le conseguenti cave per gli o-ring necessari alla tenuta sulle stesse, si realizzano dei fori, alternativamente passanti e filettati, per la giunzione delle piastre. Successivamente si assemblano fra loro le piastre tramite le viti e poi se ne spianano le sommità, fatto questo si realizzano altri fori filettati sulla parte superiore in cui si va ad alloggiare un coperchio realizzato con una piastra di alluminio di 3mm di spessore. La tenuta fra le pareti e il coperchio viene garantita anch'essa tramite una guarnizione piatta. Per collegare il doppio contenimento alla piastra si è pensato di utilizzare quattro staffe ad L, lungo ogni lato, avvitate alle pareti tramite fori ciechi e poi imbullonate





### 4.6.2 Rack protettivo e supporti vari

La piastra, a cui sono vincolati sia la cella che il doppio contenimento, viene avvitata su dei profilati Rose-Krieger, di lunghezza necessaria a garantire l'alloggiamento e il supporto della telecamera e del circuito del gas posto all'esterno della piastra. Viene così ad essere costruita una base rettangolare, formata da 4 profilati uniti fra loro sugli angoli e rinforzati con squadrette particolari, la cui funzione vedremo meglio in un secondo momento. Il fissaggio della piastra ai profilati avviene tramite delle viti con relativi inserti forniti dalla stessa ditta produttrice degli elementi strutturali. I profilati scelti sono degli S40x40 che ci garantiscono abbondantemente da un punto di vista strutturale. La telecamera viene posizionata in corrispondenza del prisma facente parte del gruppo specchi grazie ad un supporto telescopico, presente in laboratorio, che permetta la traslazione sia assiale che verticale in modo da poter effettuare eventuali modifiche di assetto a montaggio effettuato. Il supporto della telecamera si va a posizionare su due traverse, realizzate sempre con i soliti elementi, poste a distanza opportuna e aventi il doppio scopo di proteggere la telecamera da eventuali urti e, al contempo, di sostenerla. Accanto alla telecamera vi è lo spazio necessario per l'alloggiamento

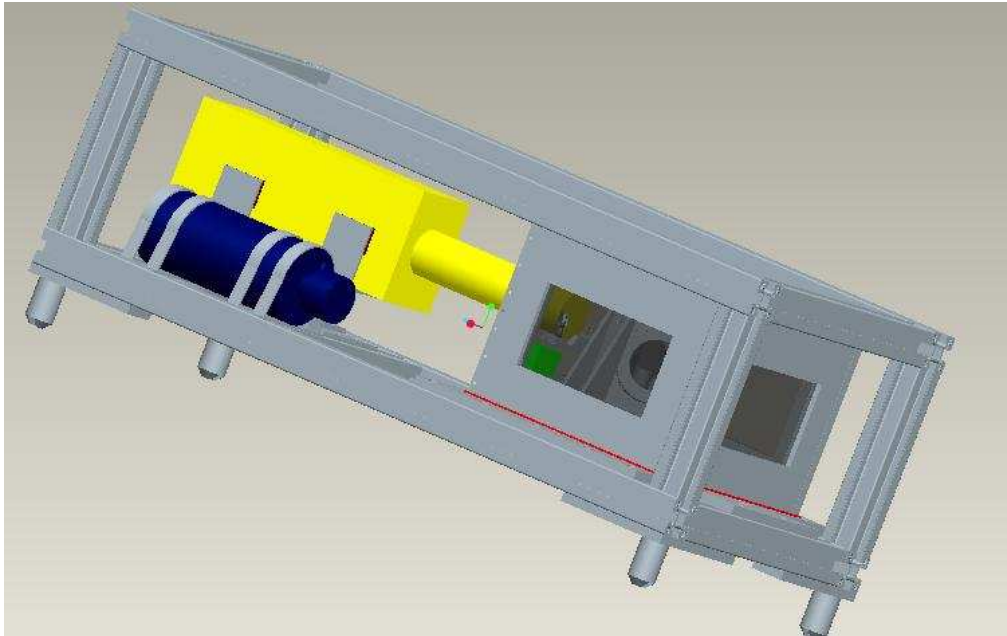


Figura 4.17: Pacchetto flottante

della bombola, realizzata con due staffe e un blocco, avendo ben cura di lasciare accessibile la chiusura della bombola stessa. Il regolatore di pressione e il controllore di flusso vengono vincolati alla piastra precedentemente descritta all'interno del contenimento. Per definire la forma finale del pacchetto flottante vengono inseriti degli elementi verticali che servono da colonne di sostegno ad una struttura rettangolare, identica a quella precedentemente descritta, posta al di sopra dell'elemento più alto fra quelli presenti nel pacchetto. La forma finale del pacchetto assemblato può essere vista in figura 4.17

## 4.7 Collegamento della struttura flottante alla gabbia

Il pacchetto flottante non può essere lasciato libero di muoversi all'interno della gabbia, nemmeno durante la fase a microgravità, poichè questa libertà potrebbe comportare degli urti con le sbarre costituenti la gabbia stessa. Gli effetti degli urti non sono di facile valutazione ma potrebbero comportare una perturbazione dei delicati settaggi effettuati e quindi è necessario trovare un modo per evitarli. È stato deciso di limitare il movimento del pacchetto all'interno della gabbia tramite dei cavetti di acciaio che vadano a collegarsi ai quattro vertici della base del pacchetto. Questi cavetti, che comunque permettono il movimento, sono così poco rigidi

che se ne possono tranquillamente trascurare le sollecitazioni flessionali da loro trasmesse all'esperimento. Poichè i cavi hanno la funzione essenziale di impedire gli urti fra il pacchetto e le pareti della gabbia, vengono tagliati ad una lunghezza tale da impedire il raggiungimento delle pareti stesse al pacchetto. Un ulteriore aiuto nell'evitare gli urti ci è offerto dall'elemento umano: si è previsto infatti che, soprattutto all'inizio e alla fine della parabola, due operatori, uno su ciascun lato, controllino e al limite correggano il moto del pacchetto. Durante la fase di microgravità abbiamo questo pacchetto libero di muoversi entro certi limiti all'interno della gabbia, essendo i limiti fissati dall'estensione dei quattro cavi. Ovviamente, se la struttura rimanesse così, avremmo dei grossi inconvenienti in quanto durante la fine della parabola, l'atterraggio e, comunque, tutte le fasi a gravità maggiore, si rischierebbe che il pacchetto venisse sballottato all'interno della gabbia con immaginabili conseguenze. Si è deciso di fissare quindi il pacchetto ad ogni fine di parabola e di liberarlo all'inizio della successiva, i cavetti si prestano molto bene ad operare un richiamo del pacchetto per favorirne il successivo fissaggio. Abbiamo pensato di creare un argano a cui collegare i cavetti in modo che, con un mezzo giro di manovella, si possano avvolgere fino a far arrivare a battuta il pacchetto su di una piastra, garantendo così un fissaggio rispetto all'asse verticale. Per garantire il fissaggio rispetto agli assi orizzontali si è pensato di realizzare delle guide cilindriche nella piastra su cui atterra il pacchetto e di farvi scorrere dei perni vincolati al pacchetto stesso. I perni sono realizzati in modo da poter fungere da squadrette per i profilati di base del pacchetto flottante e sono cavi in modo da alloggiare al proprio interno il cavetto stesso. Per regolare la tensione dei cavi si è pensato di vincolare un estremo di ciascun cavo a viti in modo che, dopo aver adagiato il pacchetto sulla piastra, in base al numero di giri delle viti, si possa gestire la loro tensione. I cavi, per sicurezza, sono alloggiati in tubi trasparenti che ne seguono il percorso dall'argano alle piastre di appoggio della struttura flottante, si è così pensato che, in caso di rottura accidentale di uno o più cavi, questi moncherini non possano andare a creare intralcio o eventuali rischi a bordo. Durante la fase di decollo e di atterraggio viene previsto che il pacchetto flottante sia vincolato tramite una barra filettata e due staffe in modo da non far ricadere il bloccaggio sull'argano ma su strumenti di maggiore affidabilità.

## 4.8 Rack principale

In questa sezione viene brevemente descritto il progetto della parte di struttura vincolata direttamente all'aereo. Essa è costituita da una gabbia tale da contenere il pacchetto flottante,

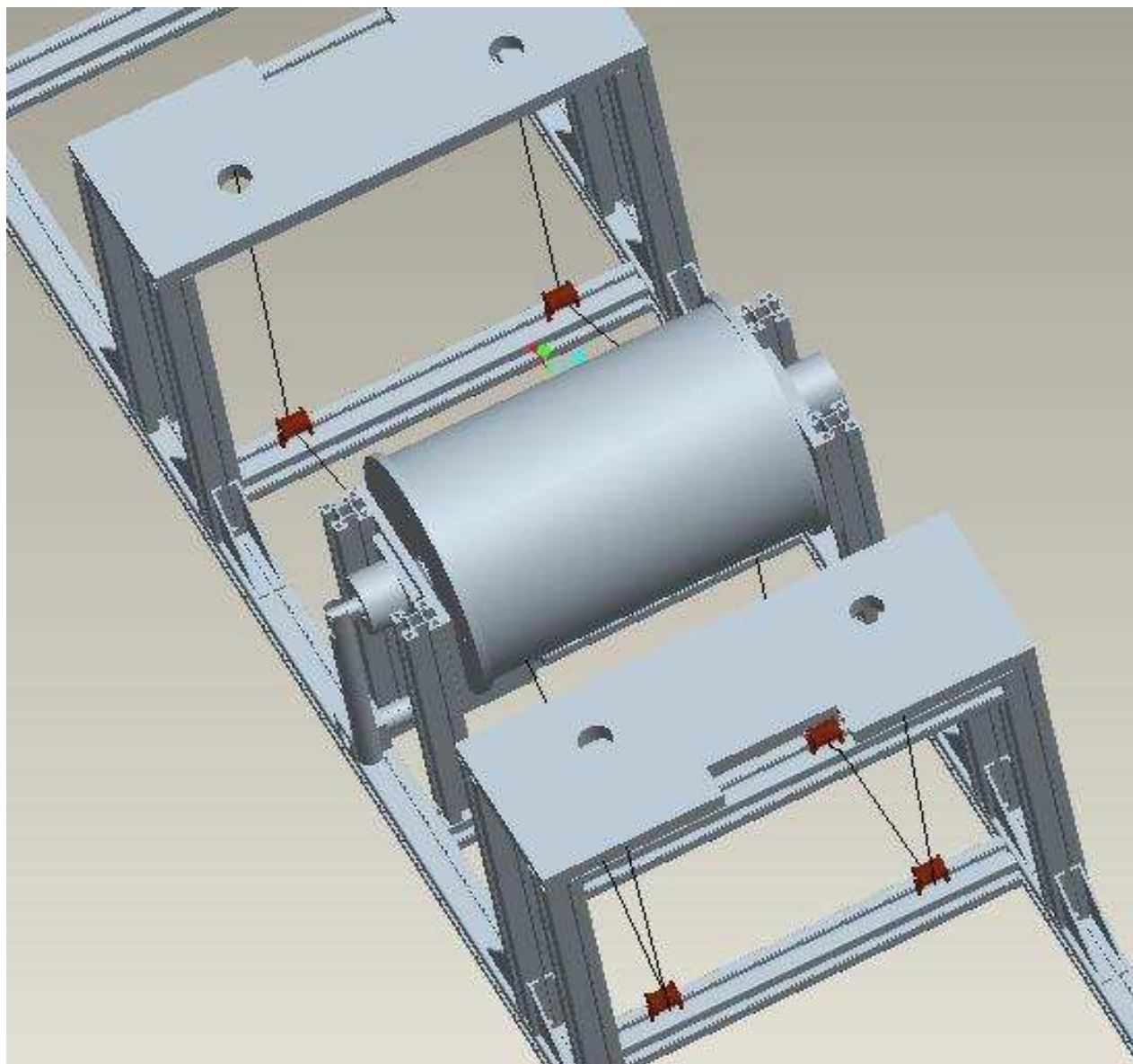


Figura 4.18: Vista dell'organo con il sistema di cavi

da un argano di richiamo del pacchetto stesso e da due portacomputer posti ai suoi estremi. L'ambiente di movimento del pacchetto flottante viene limitato per mezzo di una gabbia, le cui estensioni sono definite inferiormente dalle piastre di appoggio e lateralmente da dei profilati distanziati in modo da contenere al meglio il pacchetto stesso, pur lasciandone una buona visibilità e manovrabilità. Al di sotto della gabbia si trova l'argano di richiamo disegnato in modo tale da permettere la variazione dalla configurazione di microgravità a quella di volo normale in un mezzo giro di manovella. L'argano ha un copricavi progettato in modo da contenere al suo interno i cavi stessi in caso di rottura accidentale di uno di questi. I cavi vengono poi guidati dall'argano ai fori sulla piastre di appoggio e da lì al pacchetto flottante tramite carrucole poste su profilati collegati direttamente alla base della struttura. L'argano, in situazioni di volo normale, è bloccato tramite un perno che agisce sulla manovella, in condizioni di microgravità, invece, il bloccaggio non avviene per ragioni di sicurezza; per ogni evenienza deve essere estremamente rapido il passaggio da condizioni di pacchetto flottante a pacchetto fisso e assicurato: questo sarebbe in contraddizione con la necessità di sbloccare l'argano dalla posizione di microgravità. L'argano è vincolato alla struttura tramite quattro montanti di opportune dimensioni che sorreggono due cuscinetti a sfere grazie ai quali si può realizzare il movimento desiderato. Ai lati della gabbia si trovano due prolungamenti della struttura necessari per sostenere i due computer e la necessaria unità di acquisizione dati. Al di sotto dei computer è possibile alloggiare ulteriore strumentazione di controllo e misura e altri apparati di servizio. Tutti i profilati utilizzati in questo rack sono S40x40 della Rose-Krieger. Una vista della struttura principale è visibile in figura 4.19

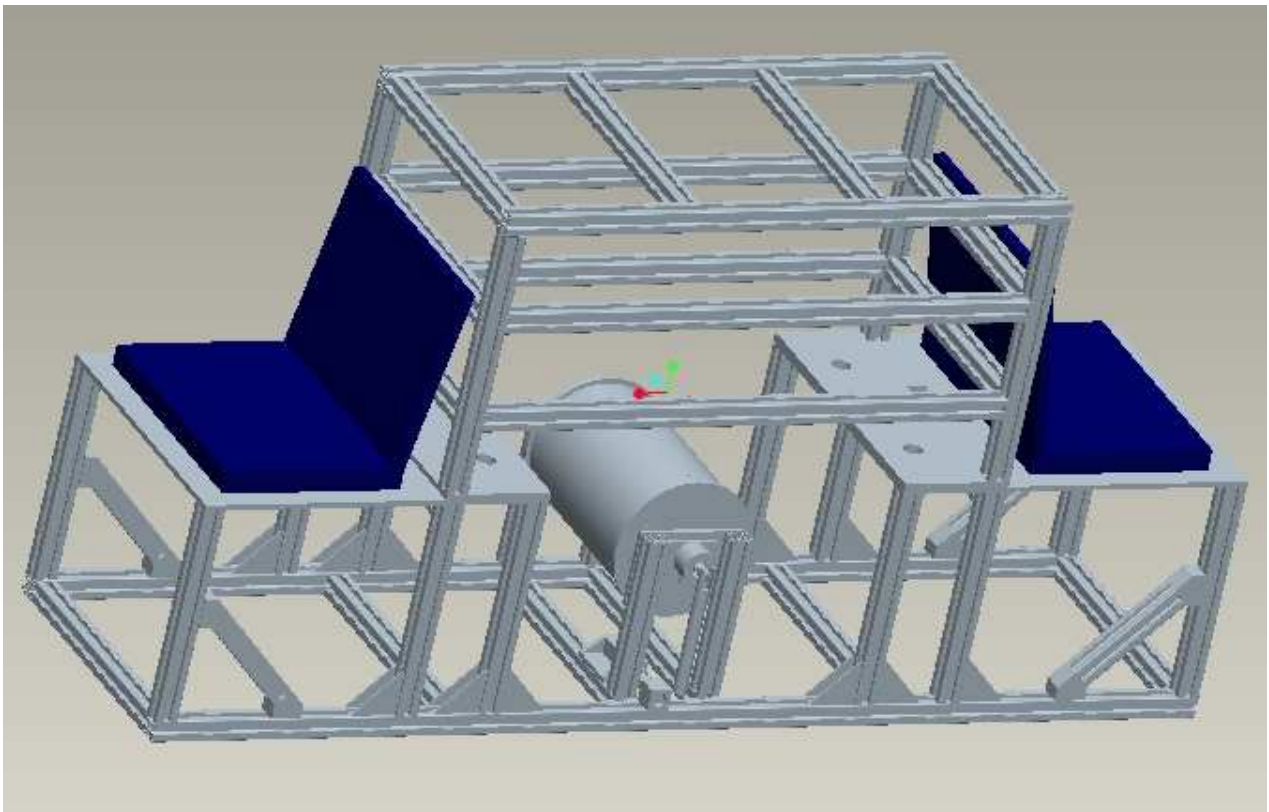


Figura 4.19: Vista del rack principale

# Capitolo 5

## Messa a punto dei sistemi ottici

### 5.1 Introduzione

La nostra attenzione, per quanto riguarda lo sviluppo e la verifica del progetto, si è concentrata soprattutto sulla ricerca di un'ottimizzazione concernente la qualità delle immagini ottenibili dall'esperimento. Per prima cosa è stata indagata la possibilità di ottenere un'immagine della medesima bolla da due punti di vista differenti; una volta sicuri della sua fattibilità si è poi passati a progettare l'esperimento in modo da attuare la specifica. Alla fine della fase di progettazione si è pensato di verificare in laboratorio il progetto e di cercare un modo per migliorare la qualità dei dati acquisiti. Trattandosi di una produzione alquanto costosa, non ha senso costruire la cella e il relativo gruppo ottico prima di averlo ottimizzato, per questo si è proceduto alla progettazione di una cella dalle stesse caratteristiche ottiche. Sono stati utilizzati gli stessi componenti richiesti dal progetto, ovvero due prismi a base triangolare, in particolare a triangolo rettangolo isoscele, con i lati uguali di 10mm e ipotenusa riflettente e degli specchietti circolari di diametro 25mm, con questa componentistica è stato realizzato un gruppo ottico equivalente.

#### 5.1.1 Cella equivalente

L'equivalenza che viene ricercata fra la cella destinata al volo parabolico e quella da realizzarsi è esclusivamente da un punto di vista ottico. I fattori che influenzano l'ottica di una cella sono essenzialmente due: lo spessore delle finestre e la quantità di liquido fra le stesse e l'obiettivo. Per questo è stata progettata una cella con pareti interamente in lexan, del solito

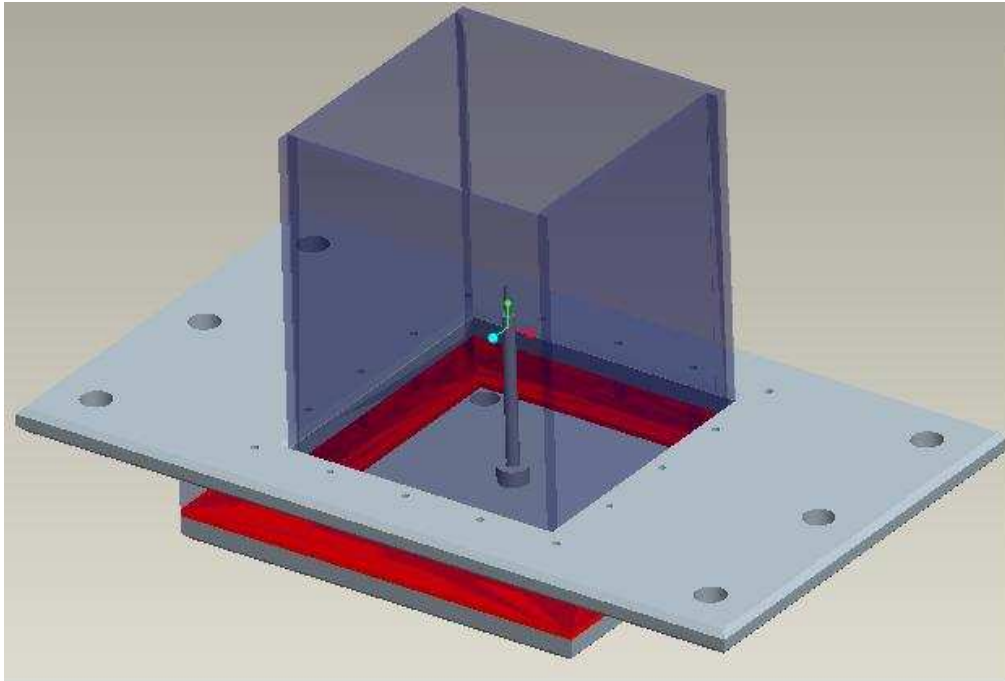


Figura 5.1: Vista della scatola equivalente

spessore delle finestre della cella da ottimizzare, e con la stessa distanza interna fra le finestre rispetto alla cella da ottimizzare. La nuova cella, quindi, è formata da 4 pareti in lexan di 4mm incollate fra loro e, a loro volta, incollate su una base rettangolare cava che le circonda. Il coperchio superiore è semplicemente appoggiato alla cella (non ci sono pericoli di fuoriuscita di liquido in ambiente a gravità normale), mentre la tenuta di quello inferiore è realizzato tramite una guarnizione piatta fra due flange in alluminio. L'utilizzo della guarnizione piatta ci ha consentito di studiare anche la tenuta del realizzando doppio contenimento della struttura destinata al volo parabolico. Infatti è stata utilizzata una guarnizione identica nelle dimensioni a quella progettata per la tenuta sulla base del doppio contenimento. Un disegno della scatola è visibile in figura 5.1. Un altro particolare che è stato possibile studiare grazie alla realizzazione della scatola in lexan è il comportamento come sigillanti delle colle da utilizzare nel doppio contenimento: se infatti verranno utilizzate nel doppio contenimento le stesse colle utilizzate nella scatola siamo garantiti in quanto non si sono osservate interazioni desaldanti, dovute al liquido sperimentale, fra le colle stesse e le pareti. Prodotta la scatola presso la ditta Fratelli Pazzaglia di Pisa, si è potuto vincolare la stessa al banco ottico, collegarle un tubo per l'adduzione di gas, riempirla di liquido sperimentale (FC72) e incominciare a cercare le



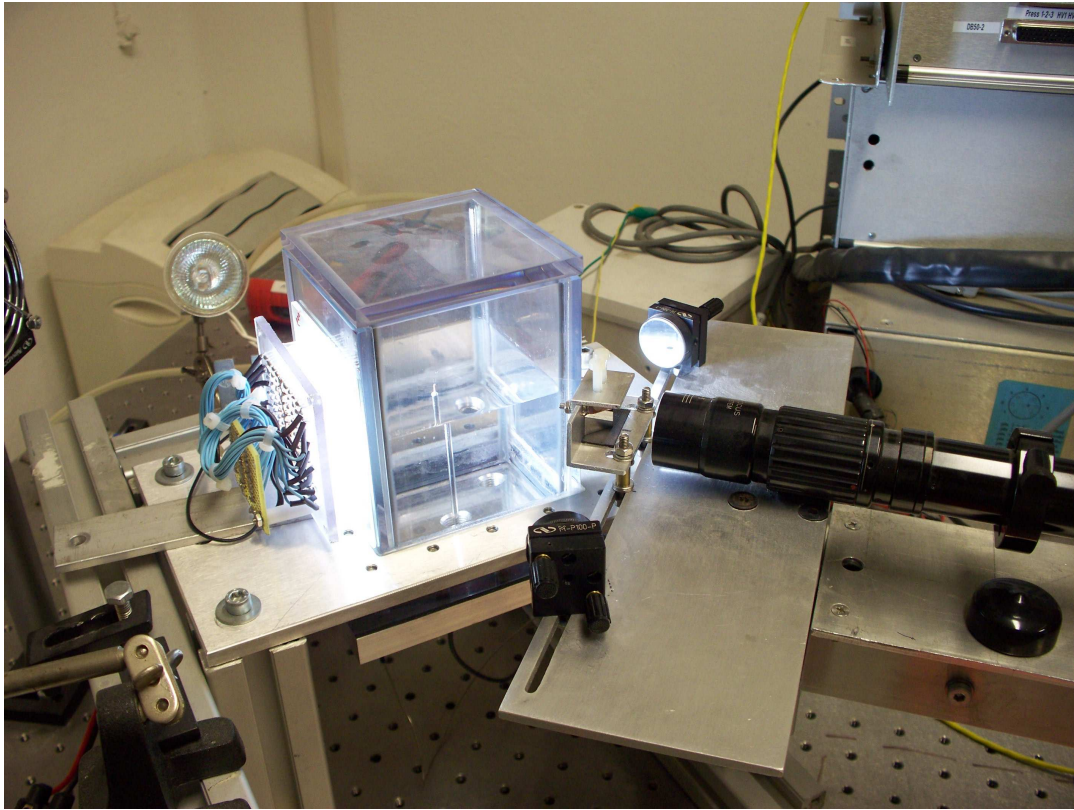


Figura 5.2: Vista del gruppo specchi equivalente. Può essere notata anche una fonte di illuminazione a matrice di led

soluzioni migliori per quanto riguarda la posizione degli specchi e la retroilluminazione della bolla.

### 5.1.2 Gruppo specchi equivalente

Nel progetto il gruppo specchi si collega direttamente alla cella ed è posto all'interno del doppio contenimento per diminuire l'eventualità di disassamenti dovuti ad urti accidentali. In laboratorio si minimizza la possibilità di urti accidentali e, anche in caso di un eventuale disassamento, si può ripristinare in tempi relativamente brevi la continuità del percorso ottico. Per questo è stato deciso di realizzare un gruppo di sostegno dell'attrezzatura ottica reso solidale alla telecamera e non più alla cella. Le dimensioni del sostegno del gruppo ottico sono state prese sulla base del progetto in modo da verificare la loro corrispondenza alle necessità. È stato realizzato un sostegno provvisorio, ma più che funzionante, ottenuto con

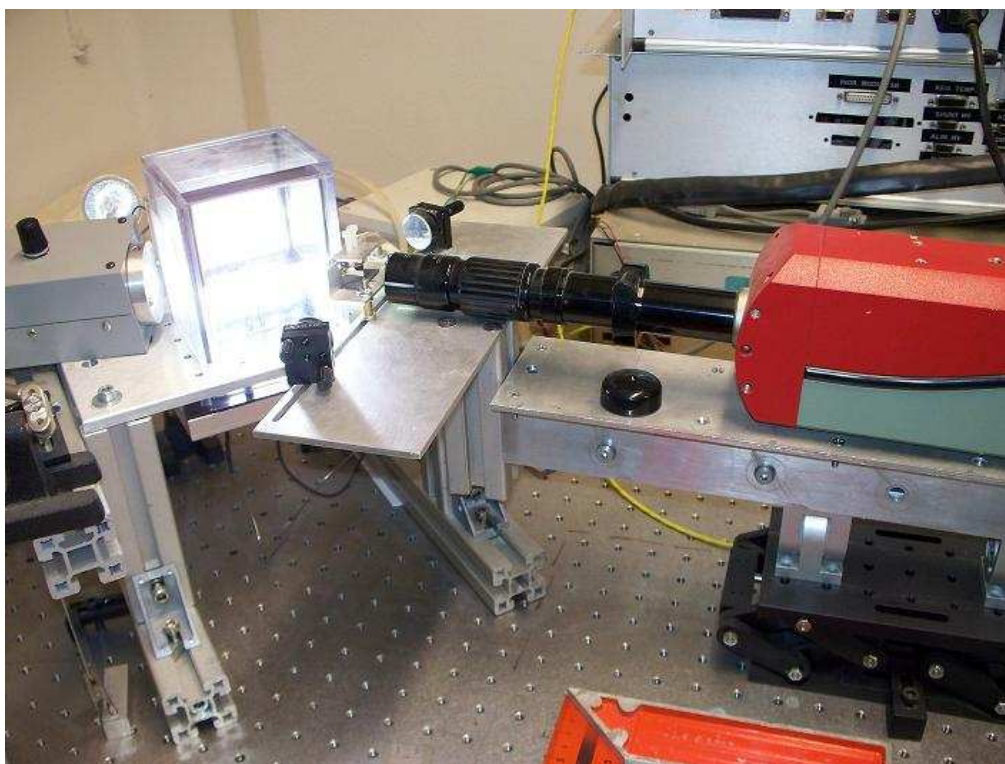


Figura 5.3: Struttura ottica equivalente, si nota anche il led con il reostato di regolazione

una lastra di alluminio in cui si sono realizzate delle asole per permettere lo scorrimento longitudinale degli specchi. Il prisma può scorrere assialmente rispetto alle cave grazie al suo sistema di fissaggio, mentre gli specchi possono ruotare su se stessi, una vista di insieme del sistema di supporto degli specchi si può vedere in figura 5.2. La telecamera può cambiare la sua elevazione rispetto al prisma ed agli specchi. È stato, così, perfettamente riprodotto il sistema di regolazione previsto nel progetto.

### 5.1.3 Assemblaggio

Si è provveduto a montare la cella equivalente su dei supporti, orientandola a  $45^\circ$  rispetto all'asse della telecamera in modo da permettere l'accesso visivo a due finestre adiacenti (una vista di insieme è visibile in figura 5.3).

Successivamente sono state posizionate due lampade alogene in modo da retroilluminare direttamente il bersaglio. Si è scelto di utilizzare le lampade alogene in quanto sono la fonte di illuminazione che è stata da sempre utilizzata per fini sperimentali. Un problema

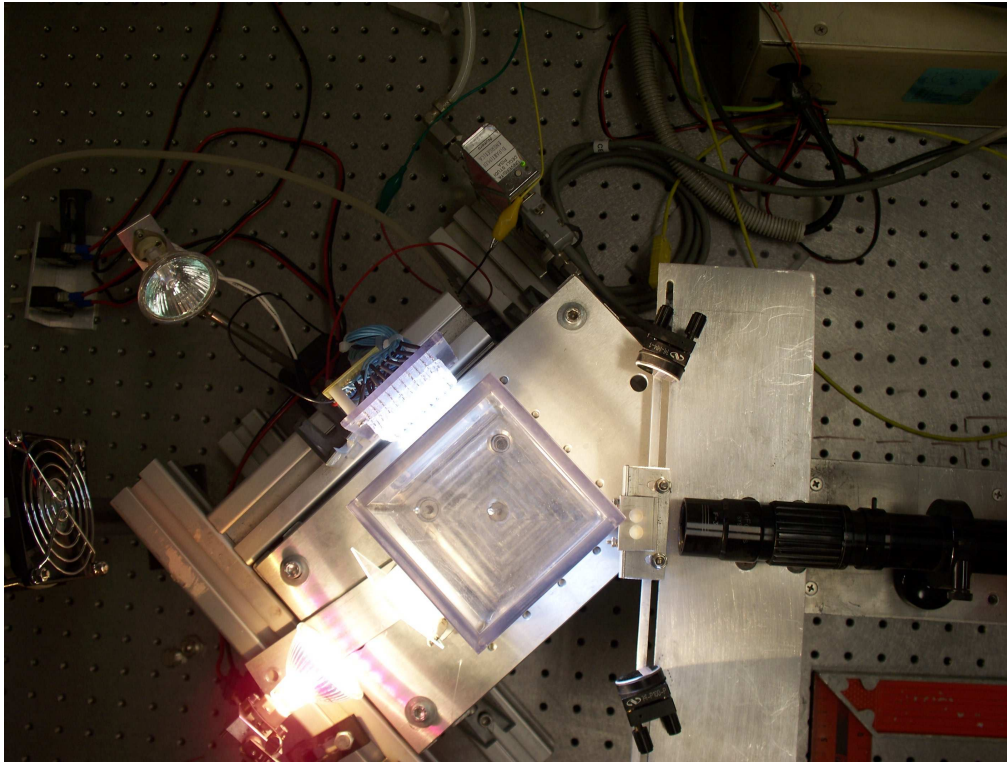


Figura 5.4: Vista del sistema ottico ottimizzato, ripresa in una situazione di confronto fra la matrice di led e un'alogeno

legato all'utilizzo delle lampade alogene è costituito dal fatto che queste, pur illuminando adeguatamente il bersaglio, riscaldano troppo la scatola. Per evitare la fusione delle pareti di lexan e l'eccessivo riscaldamento del fluido sperimentale è necessario frapporre, fra le lampade e le pareti, dei filtri ad infrarossi e utilizzare una ventola per raffreddare le lampade stesse. Naturalmente questa soluzione non è riproducibile nell'apparato di volo, come meglio esposto in seguito.

## 5.2 Verifica preliminare del sistema ottico

Assemblata la cella e il gruppo ottico con la telecamera, si è provveduto alla determinazione dell'assetto adeguato per l'acquisizione delle immagini, una vista di tale assetto è visibile in figura 5.4, mentre le immagini ottenibili sono rappresentate in figura 5.5. Sono stati posizionati gli specchi in modo da poter riprendere frontalmente il tubicino emettitore di bolle e sono

stati posizionati i prismi in modo che il loro vertice sia posizionato in linea con il centro degli specchi. L'assetto è stato trovato e si sono misurate le distanze fra i componenti in modo da verificare la loro congruenza con l'attrezzatura progettata. L'assetto realizzato in laboratorio è perfettamente compatibile con le regolazioni ottenibili per mezzo del gruppo ottico progettato per l'esperimento in volo parabolico. Oltretutto le misure ottenute in laboratorio sono più o meno le mediane, fra le regolazioni possibili, del gruppo ottico progettato. Per questo si ritiene che il gruppo ottico sia in linea con le richieste e sia dimensionato già ottimizzato.

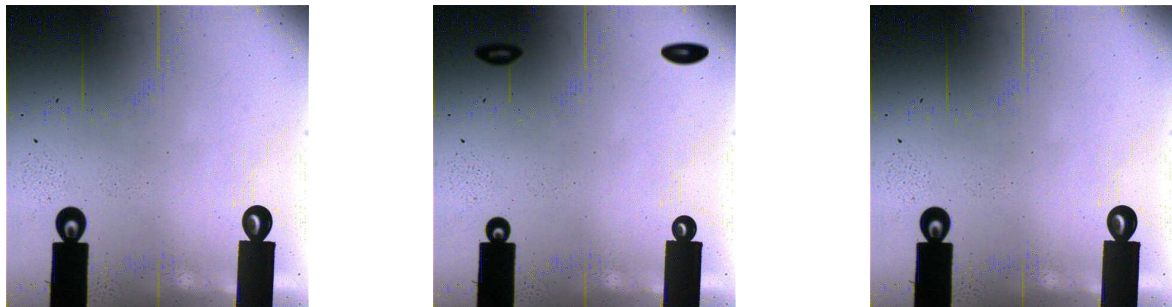


Figura 5.5: Immagini ottenute grazie all'utilizzo di due lampade alogene

### 5.3 Verifica preliminare del sistema di illuminazione

Come abbiamo già avuto modo di far notare, le lampade alogene scaldano eccessivamente e necessitano di vari accorgimenti per funzionare senza creare inconvenienti all'esperimento. Nella realizzazione dell'attrezzatura sperimentale le lampade alogene creerebbero alcuni problemi di sicurezza: sono fonti di calore ad alta temperatura e sono anche materiale fragile. Oltretutto il loro posizionamento all'interno del doppio contenimento creerebbe dei problemi per lo smaltimento del calore prodotto: una ventola interna al doppio contenimento non potrebbe smaltire adeguatamente il flusso termico prodotto e si scalderebbe inevitabilmente il liquido sperimentale in modo tale da variare le condizioni sperimentali stesse. Per questo motivo si sono ricercati dei mezzi illuminanti alternativi. È stata eseguita una ricerca su internet per individuare delle fonti di illuminazione a basso impatto termico, la soluzione ottimale sembra essere costituita da dei led. Per prima cosa è stato ricercato una fonte illuminante costituita da una matrice di led, è stato richiesto un preventivo per l'acquisto di questo tipo di illuminatore, disponibile in commercio: l'acquisto stesso è risultato proibitivo. Ci siamo allora rivolti verso altre soluzioni. In laboratorio sono presenti due fonti di illuminazione a



led: una è costituita da una schiera di led disposti in modo serrato in modo da realizzare una di matrice di led, l'altra è un unico led con una lente di diffusione della luce. In un primo momento abbiamo deciso di provare con la matrice di led. L'illuminazione dovuta alla matrice di led però è comunque scarsamente sufficiente se paragonata con quella ottenibile per mezzo di lampade tradizionali, questo paragone è ben visibile nella seconda immagine di figura 5.6.

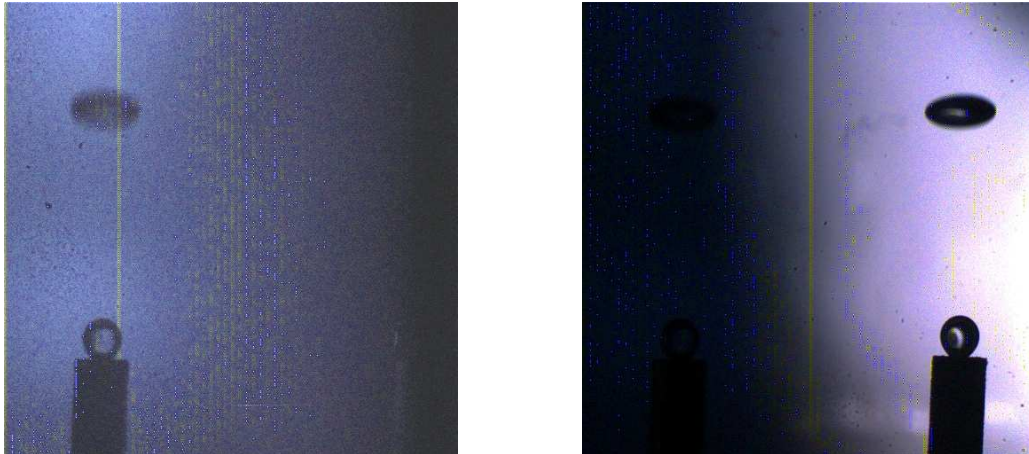


Figura 5.6: L'immagine a destra è ottenuta grazie all'utilizzo della matrice di led, quella a sinistra mostra la differenza fra la matrice di led (sn) e una lampada tradizionale (dx)

Per questo è stato deciso di elaborare l'immagine ottenuta. Tramite software di fotoritocco è stato cercato un contrasto maggiore nell'immagine: sono stati ottenuti risultati un po' migliori. Con questo input è stato pensato di lavorare direttamente sulla correzione della gamma durante l'acquisizione dell'immagine. Tramite il software di controllo della telecamera è stata variata l'ampiezza della banda acquisita, rendendo buona la fonte di illuminazione a matrice di led. Il problema di questa fonte di illuminazione è costituito dalla sua scarsa omogeneità: dal momento che nell'immagine acquisita sono presenti più di una fonte di luce, rappresentate ognuna da un led diverso. Questa mancanza di omogeneità nella ripartizione luminosa non è auspicabile in quanto peggiora sicuramente la qualità dell'immagine. Con le regolazioni effettuate precedentemente ci siamo resi conto che il mono led presente in laboratorio rappresenti una soluzione ottima per l'illuminazione, addirittura paragonabile a quella fornita da una lampada tradizionale, come risulta visibile in figura 5.7.

Per questo è stato deciso di utilizzare due led disposti in modo da retroilluminare la bolla rispetto agli specchi. All'interno del doppio contenimento si troverà quindi una coppia di led, vincolati ognuno alla sua finestra, in modo da fornire un'illuminazione adeguata per le esigenze

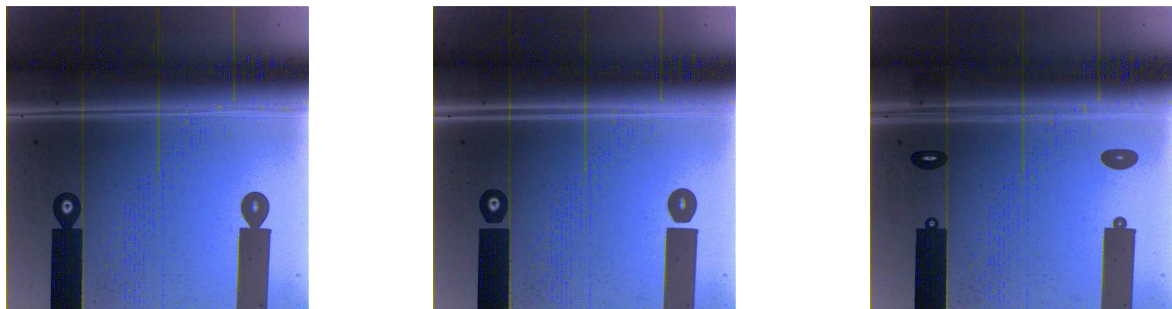


Figura 5.7: Confronto fra il mono led (sn) e un'alogeno (dx)

di ripresa. Il circuito regolatore della potenza illuminante si è preferito porlo all'esterno del doppio contenimento in modo che siano possibili delle regolazioni anche in volo. Siccome il pacchetto flottante deve comunque essere collegato al rack principale tramite cavi elettrici per la trasmissione dei segnali e per il controllo del regolatore di flusso, è stato deciso di porre due reostati, costruiti appositamente per la regolazione dei led, all'esterno del pacchetto flottante tale reostati sono collegati ai led di pertinenza con due cavetti elettrici, in modo da poter regolare la luminosità dell'esperimento anche in situazioni di microgravità.

# Capitolo 6

## Analisi preliminare di rischio

### 6.1 Metodologia adottata

Come da richieste della Novespace durante tutta la fase di progettazione deve essere sviluppata una serie di documenti riguardanti tutti i possibili rischi collegati all'esperimento. Viene fornito un modello da seguire per procedere con l'analisi e l'individuazione dei rischi stessi. Per eseguire questo tipo di analisi (Preliminary Hazard Analysis o PMA), per prima cosa è necessario individuare e catalogare le possibili situazioni. Una volta individuata una situazione di rischio, devono essere determinate le condizioni in cui questa possa realizzarsi e individuate le cause e gli effetti della fonte di rischio stessa. Basandoci sugli effetti, è possibile quindi determinarne la criticità. Devono essere, quindi, trovati dei mezzi per controllare il rischio, siano essi di prevenzione o di protezione. Tutte queste fasi devono essere riportate su tabelle che devono necessariamente contenere al loro interno

- Titolo indicativo del tipo di rischio
- Criticità
- Localizzazione del rischio (laboratorio biologico Novespace, zona di assemblaggio, Zero-G a terra, Zero-G in volo)
- Causa diretta del rischio
- Misure di controllo adoperate
- Metodologia di verifica

Sebbene la cosa non sia pienamente appropriata, a classificazione delle categorie di rischio è effettuata, da Novespace, in base alle conseguenze dell'incidente. Vengono considerate quattro possibili gradazioni di rischio.

- Minore: incremento dei carichi di lavoro
- Maggiore: riduzione dei margini di sicurezza
- Critico: piccoli infortuni, l'esperimento può danneggiarne altri o creare danni all'aereo o al punto di allestimento
- Catastrofico: perdita di una vita umana, infortuni non guaribili, perdita dell'aereo o di equipaggiamento

Viene richiesto che i rischi critici debbano essere controllati in modo che nessuna singola rottura o errore umano porti a conseguenze quali il ferimento di un componente dell'equipaggio o il danneggiamento di un'attrezzatura. Un rischio catastrofico deve essere controllato in modo che nemmeno la combinazione di due rotture distinte o di due errori umani porti alle estreme conseguenze.

## 6.2 Individuazione dei rischi principali

I rischi legati al nostro esperimento sono essenzialmente di due tipi principali: rotture strutturali e rischi causati da fattori esterni. La categoria delle rotture strutturali racchiude sicuramente qualsiasi incidente dovuto a errato fissaggio o assemblaggio dell'attrezzatura e ogni rottura o esplosione dovuta a sovrappressioni. I fattori esterni di rischio invece sono più difficili da valutare, certamente comprendono eventi casuali quali fuoco o discontinuità di servizio nell'attrezzatura di bordo, ma anche urti fra il personale di volo o eventuali oggetti volanti e l'esperimento. I rischi strutturali sono minimizzati con l'utilizzo di adeguati coefficienti di sicurezza mentre i rischi causati da fattori esterni possono essere affrontati solo con un'adeguata progettazione a monte.

Grazie ad una valutazione dell'esperimento si sono individuati i seguenti fattori di rischio:

- esplosione della bombola
- esplosione del circuito in pressione



- esplosione della cella
- esplosione del doppio contenimento
- contaminazione dovuta alla fuoriuscita di liquido
- rottura strutturale del rack contenitivo
- distacco di attrezzatura dall'esperimento
- fuoco
- urto di personale contro l'esperimento
- rottura di materiale fragile (vetro dei monitor e dell'obiettivo)
- shock elettrico

per ognuno dei precedenti rischi è stato stilato un rapporto preliminare di rischio (o PHR) che include la causa principale, la valutazione della gravità, le contromisure adottate per limitarlo e le procedure atte a impedirne l'evenienza.

## 6.3 Preliminary Hazard Report

In questo capitolo verrà illustrato il procedimento necessario per ottenere i PHR riguardanti due dei rischi precedentemente individuati, nello specifico, prenderemo in esame la fuoriuscita del liquido e l'esplosione della cella. Tutti i PHR riguardanti i rischi rilevati sono riportati in appendice.

### 6.3.1 Fuoriuscita del liquido sperimentale

Da specifiche del produttore [3M MATERIAL SAFETY DATA SHEET FC-72 FLUORINERT Brand Electronic Liquid, 04/26/2005] si evince che il liquido presenta il maggior fattore di rischio se scaldato per tempi prolungati al di sopra dei 200°C, non per questo una sua fuoriuscita a temperatura ambiente sarebbe auspicabile. La gravità del rischio viene valutata in critica: il liquido fuoriuscito non andrebbe a intaccare la struttura dell'aereo ma potrebbe comunque comportare grossi fastidi ad eventuali esperimenti vicini con i quali potrebbe entrare in contatto nella fase a microgravità. Per evitare tale fuoriuscita sono stati

posti in essere vari accorgimenti: sono state utilizzate guarnizioni idonee alla tenuta dove non può essere garantita la continuità del materiale, è previsto un test per dimostrare l'impermeabilità della cella contenente il liquido, è prevista una valvola di non ritorno nel circuito del gas e, infine, si è realizzato un doppio contenimento. Alla fine del rapporto sono state definite delle procedure di verifica e di prova tali da garantirci nella minimizzazione dell'eventualità di una fuoriuscita. Le prove sono da attuarsi a terra, la prima al momento dell'assemblaggio, le successive prima di ogni volo.

EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 1					
Name:					
Organization:					
Equipment / system:					
Hazard Group					
Hazard Classification					
Catastrophic			Critical	X	Major
Environments where the hazard applies					
NOVSPACE Biological Laboratories			NOVSPACE Set-up assembly area		X
A300 ZERO-G on Ground		X	A300 ZERO-G in Flight		X
Hazard Description :		Release of fluid FC-72			
Hazard evaluation					
Hazard cause #1	1	Leak in one of the components of the main circuit			
Hazard control(s) :	1.1	Second confinement of the main circuit			
Verification method(s)/ Verification Status :	1.1.1	Test for waterproof ness after the circuit assembling			
	1.1.2	Verification of the main circuit for waterproof ness before each filling procedure			
	1.1.3	Verification of the second confinement circuit before each flight			

Figura 6.1: Preliminary Hazard Report on Release of fluid FC-72

### 6.3.2 Esplosione della cella

La cella può esplodere essenzialmente per due motivi: sottodimensionamento o sovrappressione. Quale sia il motivo scatenante, l'esplosione può avere effetti catastrofici (es. perdita dell'aereo). Il sottodimensionamento è stata scongiurata tramite una verifica ansys della cella stessa, operata ad una pressione doppia rispetto a quella massima di esercizio (12bar contro 6bar). Per vanificare gli effetti della sovrappressione sono stati posti in essere vari accorgimenti. Nello specifico è stato previsto di utilizzare due valvole di sicurezza, una nel circuito a bassa pressione (tutto quanto sia racchiuso all'interno del doppio contenimento) e uno in quello ad

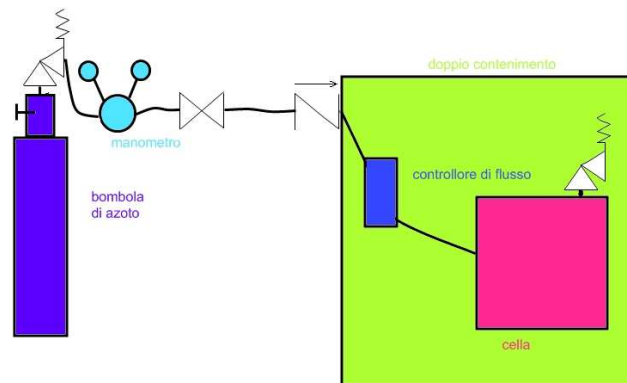


Figura 6.2: Schema del circuito in pressione

alta pressione, dove la discontinuità fra i circuiti è definita dalla presenza del regolatore di pressione. Il regolatore di pressione ha lo scopo di abbattere la pressione da quella interna alla bombola a quella necessaria al funzionamento del controllore di flusso. Considerando le possibili rotture del riduttore di pressione e della valvola di sicurezza si ha che tutto il gas presente nella bombola va a riversarsi nella cella, portandone la pressione interna alla stessa presente nella bombola, per questo è stata posta una valvola di sicurezza, tarata a 6bar, nella cella. Per evitare sovrappressioni all'interno del doppio contenimento e della cella si parte a monte: carichiamo la bombola con l'azoto strettamente necessario ad ogni volo. Così facendo riduciamo la pressione all'interno della bombola fino a 6 bar. La cella e il doppio contenimento sono progettati in modo da resistere a sovrappressioni ben maggiori rispetto a quelle causate dallo svuotamento della bombola. Un schema del circuito dalla bombola alla cella comprensivo del doppio contenimento e delle valvole di sicurezza è visibile in figura 6.2.

EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 4, 5			
Name:			
Organization:			
Equipment name:			
Hazard Group		<i>Explosion</i>	
Hazard Classification			
Catastrophic	<i>X</i>	Critical	
		Major	
Environments where the hazard applies			
NOVSPACE Biological Laboratories		NOVSPACE Set-up assembly area	<i>X</i>
A300 ZERO-G on Ground		A300 ZERO-G in Flight	<i>X</i>
Hazard Description :		<i>Explosion of the Test Section</i>	
Hazard evaluation			
	<b>Hazard cause #1</b>	1	<i>Structural failure</i>
	Hazard control(s) :	1.1	<i>Limiting the MAWP of the test section to 6.0 bar, while the MDP (Maximum Design Pressure) is at least 12 bar (2 times the MAWP) or higher. The maximum design pressure (MDP) of the cell is 12 bar. For the pipes is 10 bar. With the MAWP = 6.0 bar the safety factor of all pressurized elements is higher than 2.</i>
		1.2	<i>Use of the confinement box for containing the test section particles and the FC-72 fluid in the case of rupture or explosion of the cell</i>
	Verification method(s)/ Verification Status :	1.1.1	<i>Verification of the cell by structural calculation of the stresses caused by inner pressure</i>
		1.1.2	<i>Test of the cell at 12 bar (2 times the MAWP)</i>
		1.1.3	<i>Visual inspection of the windows of the confinement box to detect the presence of fluid outside the test section</i>
	<b>Hazard cause #2</b>	2	<i>Over pressurization</i>
	Hazard control(s) :	2.1	<i>The maximum pressure in the test section is maintained lower than the MAWP by the manual control on the pressure regulator and by the relief valves outside the double containment.</i>
		2.2	<i>Use of the confinement box for containing the test section particles and the FC-72 fluid</i>
	Verification method(s)/ Verification Status :	2.1.1	<i>Test of the cracking pressure of the relief valves RVI</i>
		2.1.2	<i>Verification of the pressure regulator</i>
		2.1.3	<i>Visual inspection of the windows of the confinement box to detect the presence of fluid outside the test section</i>

Figura 6.3: Preliminary Hazard Report on explosion of Test Section

# Capitolo 7

## Conclusioni

È stata progettata una struttura tale da permettere lo studio della dinamica della bolla, sottoposta a campo elettrico, in un ambiente a microgravità, ottenuto per mezzo del volo parabolico. La struttura è stata concepita in modo da essere perfettamente rispondente alle esigenze sperimentali e alle specifiche di sicurezza imposte per tale tipo di attività. La corrispondenza alle esigenze sperimentali è stata realizzata cercando le possibili influenze esterne alla dinamica della bolla e trovando un modo, se non per eliminarle del tutto, almeno per ridurle: si è notato che il g-jitter sia un fatto oltremodo negativo per lo sviluppo della bolla in quanto ne influenza il distacco, di conseguenza ne è stata neutralizzato l'effetto scollegando il pacchetto sperimentale dall'aereo. Un altro modo di corrispondere alle esigenze sperimentali è stata la realizzazione del sistema ottico per riprendere la bolla da due punti di vista distinti, senza complicare e appesantire troppo l'esperimento con due telecamere. Le esigenze di sicurezza sono state oggetto di notevole e continua attenzione durante la ideazione della struttura: è stata, infatti, eseguita volta volta una valutazione dei possibili fattori di rischio e si è agito, studiando salvaguardie, trovando soluzioni alternative e stilando una lista di procedure da eseguire, in modo da minimizzare i rischi o, almeno, ridurre l'impatto di un possibile incidente. In seguito si è provveduto a formalizzare l'analisi di rischio, contestuale alla progettazione, per mezzo di documenti, la cui linea guida ci era stata fornita dalla Novespace. Infine si è passati alla validazione e all'ottimizzazione in laboratorio del cuore dell'esperimento: si è infatti costruito una cella equivalente da un punto di vista ottico e, su questa, si è passati a studiare la migliore illuminazione possibile e la posizione reciproca ottima dei componenti del gruppo ottico.

# Appendice A

## Verifiche strutturali

In questa appendice verranno mostrate le verifiche strutturali compiute sulla struttura: una parte sono espressamente richieste dalla Novespace e vanno eseguite secondo i loro standard, le rimanenti sono da integrarsi con i PHA. Le verifiche strettamente necessarie sono definite dalla Novespace nel documento Mu-2007-1-en-d5 e sono precisamente la verifica a taglio sulle viti di attacco, la verifica a trazione sulle stesse viti, la verifica del momento flettente sui montanti e la verifica del carico sul binario. Il coefficiente di sicurezza deve essere in ogni caso maggiore di 1.5. I carichi sopportabili dalle viti di attacco, fornite dalla Novespace stessa, sono visibili in tabella A.1. Secondo la Novespace la verifica è da farsi considerando il carico maggiore fra quelli sorgenti in caso di un atterraggio di emergenza, ricordiamo che tale carico è pari a 9g lungo l'asse dell'aereo, le accelerazioni subite sono comunque visibili in tabella 3.1.

Carico strutturale	Massimo carico sostenibile
Taglio	34800 N
Forza di trazione	58000 N

Tabella A.1: Massimi carichi sostenibili dalle viti di attacco

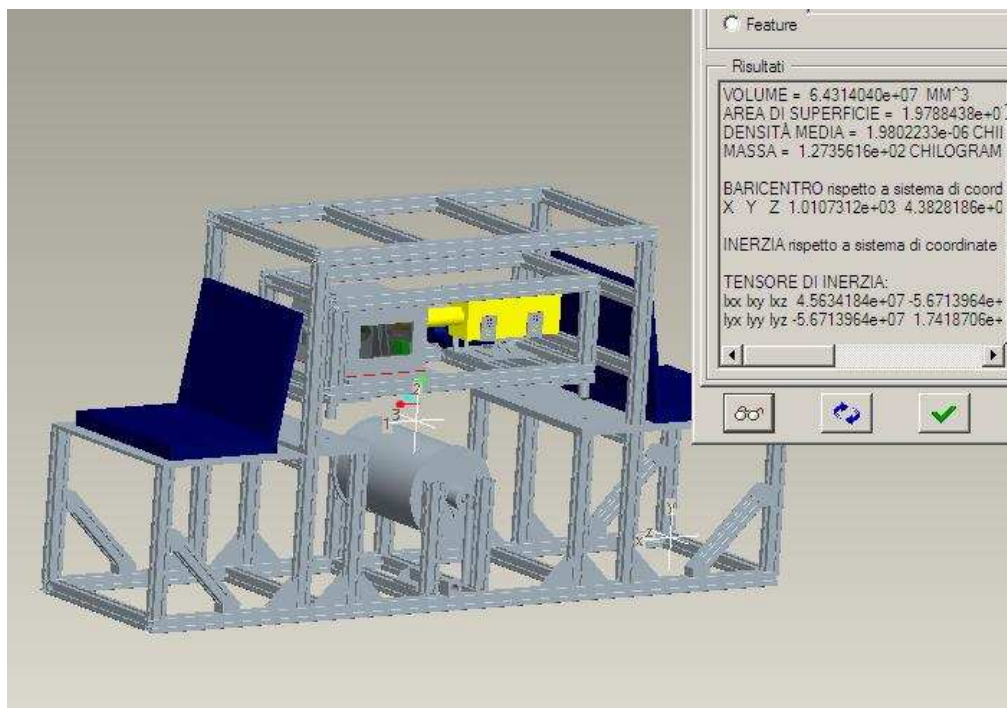


Figura A.1: Complessivo con le indicazioni di massa e baricentro

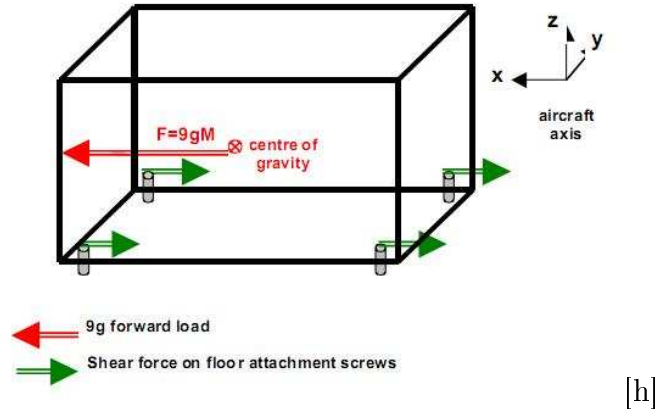
## A.1 Verifiche standard Novespace

### A.1.1 Calcolo della massa dell'esperimento

Per il calcolo della massa dell'esperimento ci siamo affidati a Pro-Engineer, che è in grado di fornire, una volta inserite le opportune densità, non solo la massa della struttura progettata, ma anche il suo baricentro. I dati ricavati da Pro-Engineer sono stati corretti aggiungendo almeno 10kg di massa e 50mm di altezza del baricentro per considerare, in modo cautelativo, le viti di giunzione necessarie, i cavi di collegamento delle attrezzature e la scheda di acquisizione dati. La massa finale dell'esperimento è da verificarsi, ovviamente, ad assemblaggio concluso. Dall'analisi della figura A.1 si ricava che la massa della struttura sia di 127 kg, mentre il baricentro sia collocato ad un'altezza di 440mm rispetto al suolo. Nelle successive verifiche, per i motivi che abbiamo precedentemente illustrato, si considererà una massa di 140kg e un'altezza del baricentro dagli attacchi pari a 500mm.

### A.1.2 Shear force

La figura A.2 indica la via da seguire per la verifica della forza tagliante sulle viti di attacco.



[h]

Figura A.2: Carichi di taglio sulle viti di attacco

$$F_s = \frac{9 \cdot g \cdot M}{N_a} = \frac{9 \cdot 9.8 \cdot 140}{4} = 3100N$$

dove  $N_a$  rappresenta il numero di viti di attacco.

Come si vede confrontando il carico massimo ammissibile su ciascuna vite con quello ricavato dal calcolo il coefficiente di sicurezza è ben maggiore di 1.5, essendo esattamente 11.

### A.1.3 Traction force

In figura A.3 è schematizzato il modo di calcolo della forza a trazione agente sulle viti di coda nel caso di atterraggio di emergenza.

$$F_s = \frac{9 \cdot g \cdot M \cdot H}{N_{ra} \cdot D} + F_t = \frac{9 \cdot 9.8 \cdot 140 \cdot 500}{2 \cdot 2032} + 28300 = 29800N$$

dove con  $N_{ra}$  si indica il numero di viti di coda, con  $D$  la distanza fra le viti di prora e quelle di coda, con  $F_t$  il serraggio e con  $H$  l'altezza del baricentro. Il coefficiente di sicurezza, in questo caso, vale 1.9.



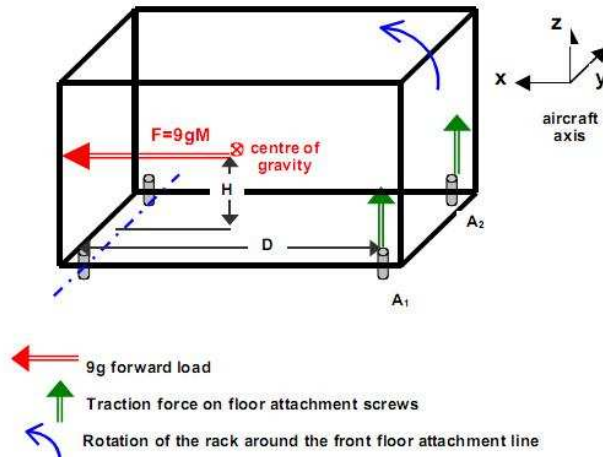


Figura A.3: Carichi di trazione sulle viti di attacco

#### A.1.4 Bending moment on upright

In figura A.4 è rappresentato il modo di calcolo del momento flettente su ciascun montante. Tale momento vale

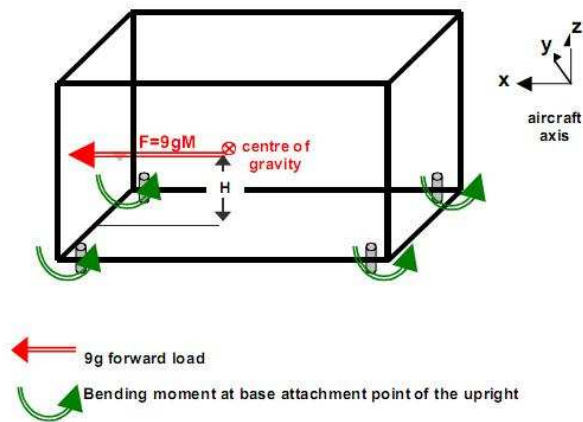


Figura A.4: Momento flettente sui montanti

$$M_b = \frac{9 \cdot M \cdot g \cdot H}{N_u} = \frac{9 \cdot 140 \cdot 9.8 \cdot 500}{12} = 510000 N \cdot mm$$

dove  $N_u$  rappresenta il numero di montanti. Il carico massimo sopportabile da ogni montante si ricava considerando la tabella A.2

Tensione ammissibile	245 <i>MPa</i>
Superficie	706 <i>mm</i> <sup>2</sup>
Momento di inerzia	11.9 <i>cm</i> <sup>4</sup>
Momento inerzia polare	23.8 <i>cm</i> <sup>4</sup>
Modulo di resistenza a flessione	5.95 <i>cm</i> <sup>3</sup>
Massa	1.9 <i>Kg/m</i>

Tabella A.2: Caratteristiche dei profili strutturali

Il momento flettente massimo ammissibile da tabella risulta essere  $1.46 \cdot 10^6 N \cdot mm$ , per cui il coefficiente di sicurezza vale 2.9.

### A.1.5 Rail load

La massa ripartita su ogni punto di attacco è pari a

$$M_a = \frac{M}{N_a} = \frac{140}{4} = 35kg$$

e, poichè la distanza fra gli attacchi è di 2032mm, la quota massa su ciascun metro di binario è molto inferiore al suo massimo ammissibile (pari a 100kg/m)

### A.1.6 Summary of structural hardware verification and requirements

Un riepilogo è visibile in tabella A.3

Structural load	structural load under 9g	Maximum allowable load	Safety factor
Shear force	3100N	34800N	11
Traction force	29800N	58000N	1.9
Bending moment	510000 <i>N · mm</i>	1460000 <i>N · mm</i>	2.9

Tabella A.3: Riepilogo delle principali verifiche strutturali

## A.2 Altre verifiche strutturali

Le successive verifiche, pur se non direttamente richieste, si sono rese necessarie nella progettazione della struttura e sono, alle volte funzionali, altre volte di complemento, alla

produzione dei documenti per la trattazione del rischio.

### A.2.1 Verifica dei collegamenti filettati

La struttura è completamente vincolata e tenuta insieme per mezzo di collegamenti filettati, l'attrezzatura è collegata al proprio alloggiamento per mezzo di collegamenti filettati o per mezzo di velcro, non si ritiene necessaria la verifica dei collegamenti dell'attrezzatura sperimentale alla struttura in quanto questi sono assolutamente sovradimensionati.

#### Cella

Gli elementi filettati presenti nella cella sono essenzialmente di due tipi differenti: quelli necessari per la tenuta e quelli meramente strutturali. Necessari per la tenuta, ma con compiti strutturali scarsamente provanti, sono le viti che servono per il fissaggio delle finestre e quelle necessarie all'assemblaggio della cella stessa. I collegamenti filettati che, invece, hanno esclusivamente un compito strutturale sono quelli necessari al collegamento del gruppo specchi alla cella e quelli che permettono l'assemblaggio della cella alla piastra di base del doppio contenimento. Ogni finestra è fissata al corpo centrale della cella per mezzo di sedici viti M3x0.5 quando per sostenere adeguatamente la pressione di 6bar sulla finestra ne basterebbero meno, infatti la forza esercitata sulla finestra (diametro=68mm) in caso di guasto tale da portare la pressione interna a quella massima possibile e contestuale atterraggio di emergenza è pari a

$$F_f = 34^2 \cdot \pi \cdot 0.6 + 0.92 \cdot 9 \cdot g = 2180N$$

mentre le viti, essendo di classe 8.8, hanno un carico di rottura a trazione pari a  $800N/mm^2$  e un carico unitario di scostamento dalla proporzionalità  $S_p$  di  $640N/mm^2$ . Se calcoliamo il precarico da effettuare sulle nostre viti con un coefficiente di precarico,  $K_i$ , pari a 0.9, valore generalmente utilizzato per collegamenti statici,

$$F_i = K_i \cdot A_t \cdot S_p = 0.9 \cdot 5.03 \cdot 640 = 2897N$$

mentre il carico sulla madrevite necessario per produrre lo snervamento sull'intera superficie di strappamento del dado vale

$$F = \pi \cdot d \cdot (0.75 \cdot t) \cdot (0.58 \cdot S_y) = \pi \cdot 3 \cdot (0.75 \cdot 8) \cdot (0.58 \cdot 245) = 7487N$$

dove  $d$  rappresenta il diametro della vite e  $t$  l'altezza di filetto impegnato dalla vite; dal confronto fra i carichi precedentemente calcolati, ci rendiamo conto che la vite possa tranquillamente essere serrata con il precarico calcolato e che per avere una giunzione efficace basterebbe una sola vite. Se ne aumenta in modo così massiccio il numero per ripartire meglio il carico sull'o-ring sottostante, in modo da facilitarne la tenuta. Lo stesso avviene per i coperchi, sia quello inferiore che quello superiore, in questi la forza esercitata dal liquido in pressione, in caso di guasto, vale

$$F_c = 74^2 \cdot 0.6 + 0.92 \cdot 7.3 \cdot g = 3350N$$

anche qui le restanti viti hanno il compito di ripartire con maggiore uniformità il carico sull'o-ring.

Il momento di serraggio da utilizzare per tutte le viti vale

$$T = 0.2 \cdot F_i \cdot d = 0.2 \cdot 2180 \cdot 3 = 1308N \cdot mm$$

Le viti di collegamento fra le staffe di sostegno della cella e la piastra inferiore del doppio contenimento hanno il compito di supportare un carico massimo dato dal momento esercitato della cella e dal liquido in essa contenuto nel caso di atterraggio di emergenza a cui va a sommarsi lo sforzo tagliente. Questo carico è stimabile in:

$$M = (M_c + M_l) \cdot 9 \cdot g \cdot H_g = (0.92 + 1.28) \cdot 9 \cdot g \cdot 120 = 23300N \cdot mm$$

$$F = (M_c + M_l) \cdot 9 \cdot g = (0.92 + 1.08) \cdot 9 \cdot g = 176N \cdot mm$$

Si utilizzano sempre delle viti M3x0.5 il cui forzamento iniziale vale, come calcolato in precedenza, 2897N, ne consegue che il carico tagliente che ciascuna vite può sopportare vale

$$F_t = F_i \cdot \mu_s = 2897 \cdot 0.3 = 870N$$

Si suppone che il momento sia sopportato dalla sola staffa posteriore senza considerare l'aiuto offerto dai distanziali la forza normale agente sulle viti di base della staffa vale, quindi

$$F_n = \frac{M}{D} = \frac{23300}{40} = 580N$$

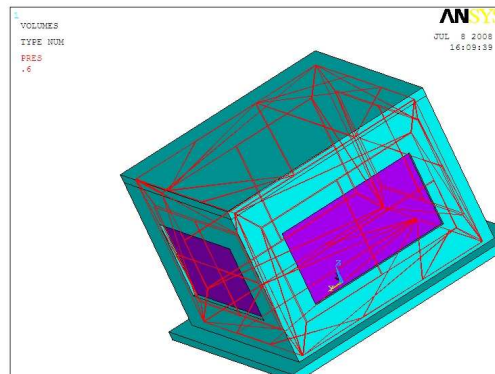


Figura A.5: Modello agli elementi finiti del doppio contenimento

Dove  $D$  rappresenta la distanza fra le viti di base della staffa. Si nota che sarebbe sufficiente una sola staffa, quella posteriore, le altre staffe sono state inserite per maggiore sicurezza, per ridondanza e per evitare disassamenti sull'asse longitudinale.

### Doppio contenimento

Anche nel doppio contenimento le viti sono sovrabbondanti rispetto alle reali necessità, sulle superfici superiore ed inferiore si pongono sempre per uniformare la ripartizione del carico sulle guarnizioni, nelle giunzioni laterali servono per evitare il desaldamento della colla. Il doppio contenimento viene testato ad una pressione doppia rispetto a quella massima di esercizio, più precisamente a 6bar. Il modello con i carichi è visibile in figura A.5, la soluzione del modello mostra come la tensione massima subita dal doppio contenimento sia intorno ai 95Mpa, superiore quindi alla tensione di rottura del lexan, ma se andiamo a vedere nel dettaglio la sigma equivalente che si ha nelle finestre (vedi figura A.7) questo risulta essere di 40 Mpa. Per questo il coefficiente di sicurezza del lexan risulta pari a 1.5, la parte in alluminio invece ha un coefficiente di sicurezza di 2.5.

### Giunzioni fra le piastre e i profili strutturali

La piastra maggiormente caricata è quella di appoggio del pacchetto flottante, si verificano le giunzioni di questa piastra, in quanto le altre sono sicuramente in condizioni più favorevoli. Si considera che il pacchetto flottante sia mantenuto in posizione, in caso di atterraggio di emergenza, solo da una fra le due piastre di base della gabbia: questa è la situazione

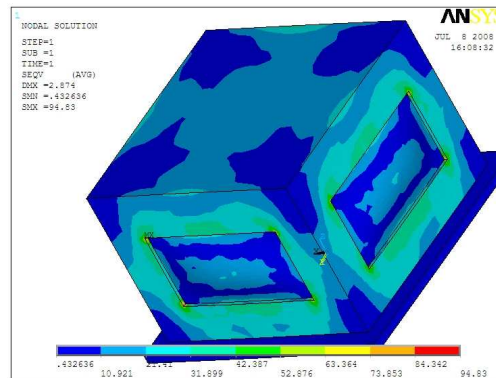


Figura A.6: Soluzione del doppio contenimento

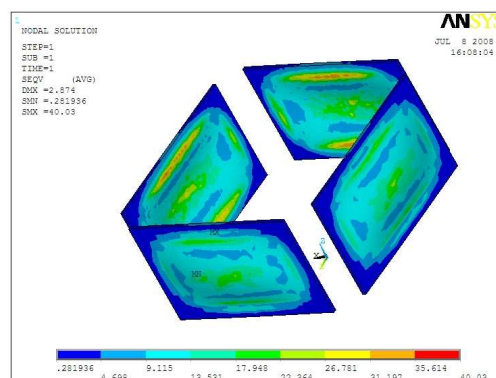


Figura A.7: Sollecitazioni sulle sole finestre

maggiormente cautelativa. Determinate tramite il software Pro-Engineer le coordinate del baricentro e la massa del pacchetto flottante, si vanno a calcolare i carichi che si ripartiscono sulla piastra. Si modella la piastra come un corpo rigido e così si fa pure per il pacchetto flottante che esercita azioni sulla piastra solo per mezzo delle guide, si considera quindi la massa del pacchetto come concentrata tutta nel baricentro. La piastra subisce quindi un momento pari a  $740000 \text{ N} \cdot \text{mm}$  e una forza di componenti  $(2600, 0, 0)$ , il tutto deve essere supportato da dei bulloni vincolati alle estremità. Si teorizza il funzionamento tutti i bulloni in quanto ci siamo già cautelati ritenendo che il carico si ripartisca su di una sola piastra. I bulloni, che sono collocati alle estremità della piastra e quindi a 543 mm fra loro, per equilibrare le sollecitazioni prodotte dalla struttura flottante, devono sviluppare ognuno una forza pari a 1400 N per lato. Dai calcoli precedenti vediamo che servirebbero circa 2 bulloni da M3x0.5 per lato, nella piastra sono stati previsti 4 M5 per ogni lato per cautelarci.

### A.2.2 Verifica elementi finiti della cella

Si è esportato un file iges da Pro-Engineer in Ansys e si è provveduto alla validazione del progetto per mezzo di una schematizzazione agli elementi finiti. La cella è stata verificata per una pressione interna di 12bar e in caso di atterraggio di emergenza, i 12bar sono comunque una pressione doppia rispetto a quella di esercizio. I carichi applicati sono visibili in figura A.8. Il lexan costituente le finestre della cella ha una tensione di rottura pari a 60Mpa, visto che la tensione massima, come risulta visibile in figura A.9, vale circa 40Mpa se ne deduce che il coefficiente di sicurezza sia almeno 1.5 per una pressione doppia a quella massima di esercizio, senza nemmeno preoccuparci di indagare se la tensione si abbia sull'alluminio o sul lexan.

### A.2.3 Verifica elementi finiti del telaio

Il telaio è stato schematizzato con elementi trave, le piastre con elementi solidi. I carichi applicati sono dati dalla combinazione dei carichi nel caso di atterraggio di emergenza, più precisamente sono dati come pesi dovuti all'accelerazione  $(9, -7.3, 3) \cdot g$ , si applicano come peso distribuito sulle travi costituenti il telaio e sulle piastre. Il pacchetto flottante, l'argano ed i computer sono stati considerati come masse concentrate nel loro baricentro. I risultati sono visibili in figura A.10

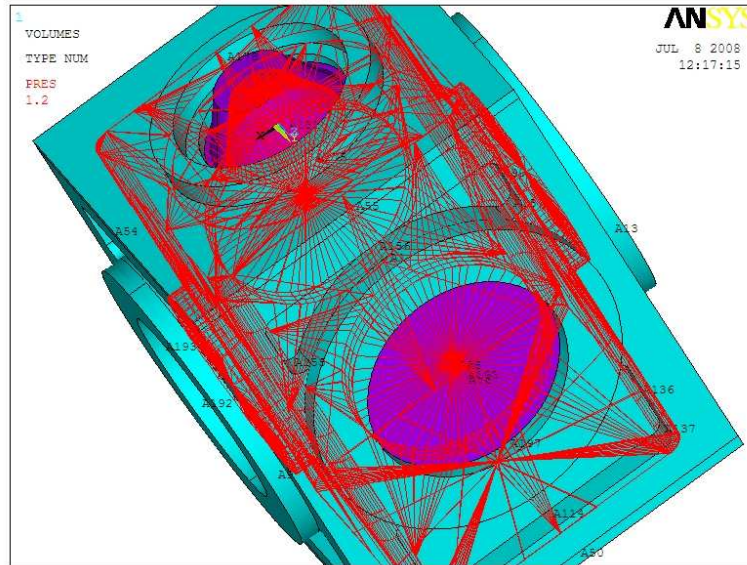


Figura A.8: Rappresentazione della pressione interna

Come si può vedere il punto più sollecitato è caratterizzato da forza normale pari a - 12006N, taglio pari a 752N lungo x e 9310 lungo y e momento lungo y pari a 1040000  $N \cdot mm$ , momento lungo uguale a 76000 e, infine, momento torcente pari a 7000. Con queste caratteristiche si va a verificare la sezione. Come si può vedere la torsione produce un contributo pressochè trascurabile quindi non viene considerata, si agisce allo stesso modo per quanto riguarda il taglio. La  $\sigma_{zz}$  calcolata

$$\sigma_{zz} = \frac{M_x}{W} + \frac{M_y}{W} + \frac{N}{A} = \frac{(1040000 + 76000)}{5.95} + \frac{12006}{706} = 187 \text{ Mpa}$$

viene confrontata con quella massima ammissibile per ottenere un coefficiente di sicurezza di

$$SF = \frac{245}{187} = 1.3$$

più che adeguato considerando che i carichi applicati non possono verificarsi contemporaneamente.



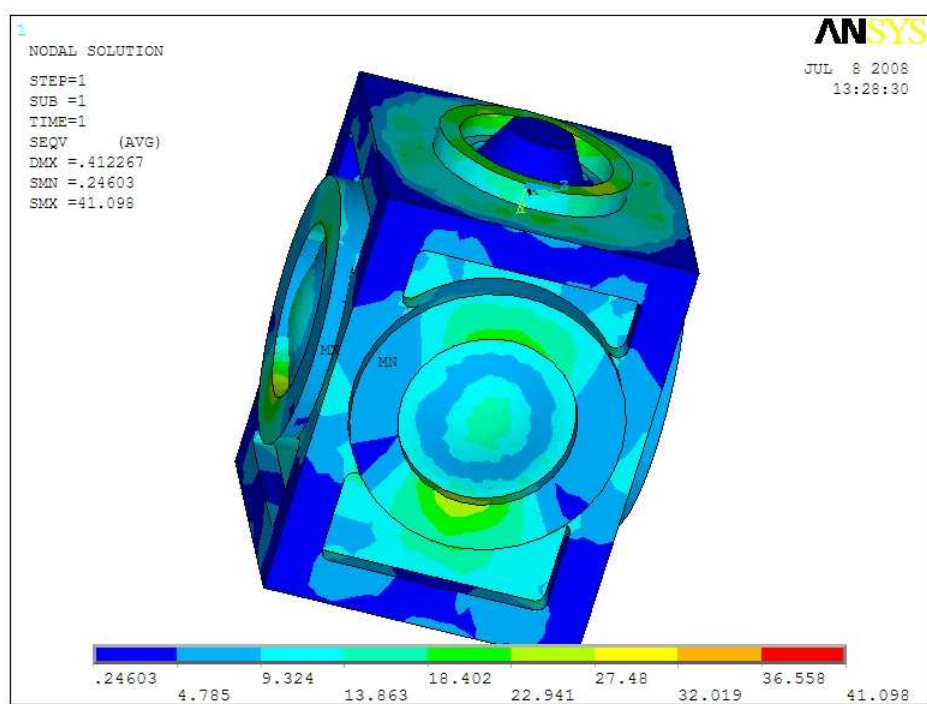


Figura A.9: Immagine tratta dalla verifica Ansys della cella

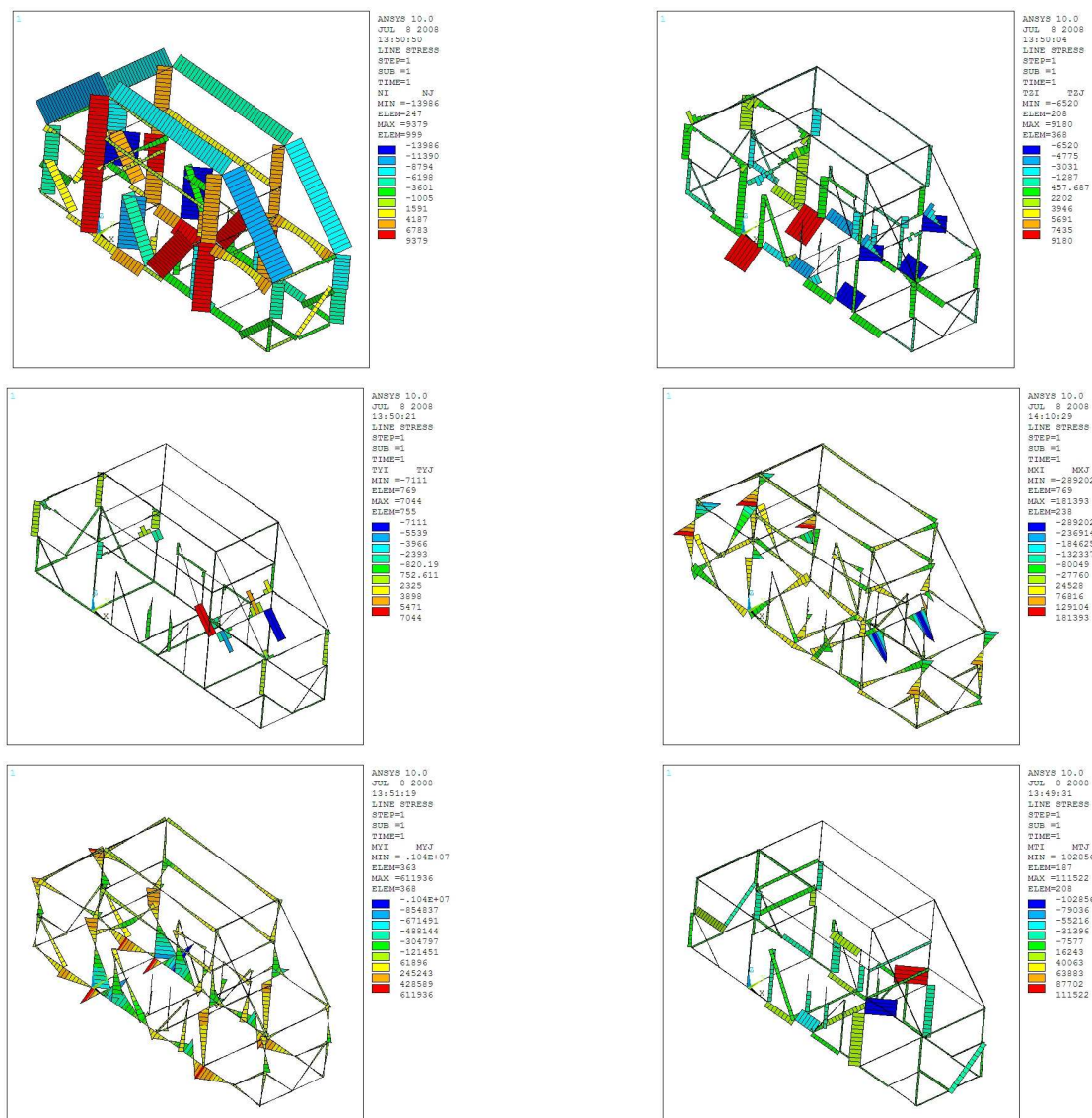


Figura A.10: Caratteristiche della sollecitazione del telaio

## Appendice B

### Disegni tecnici con quote di ingombro

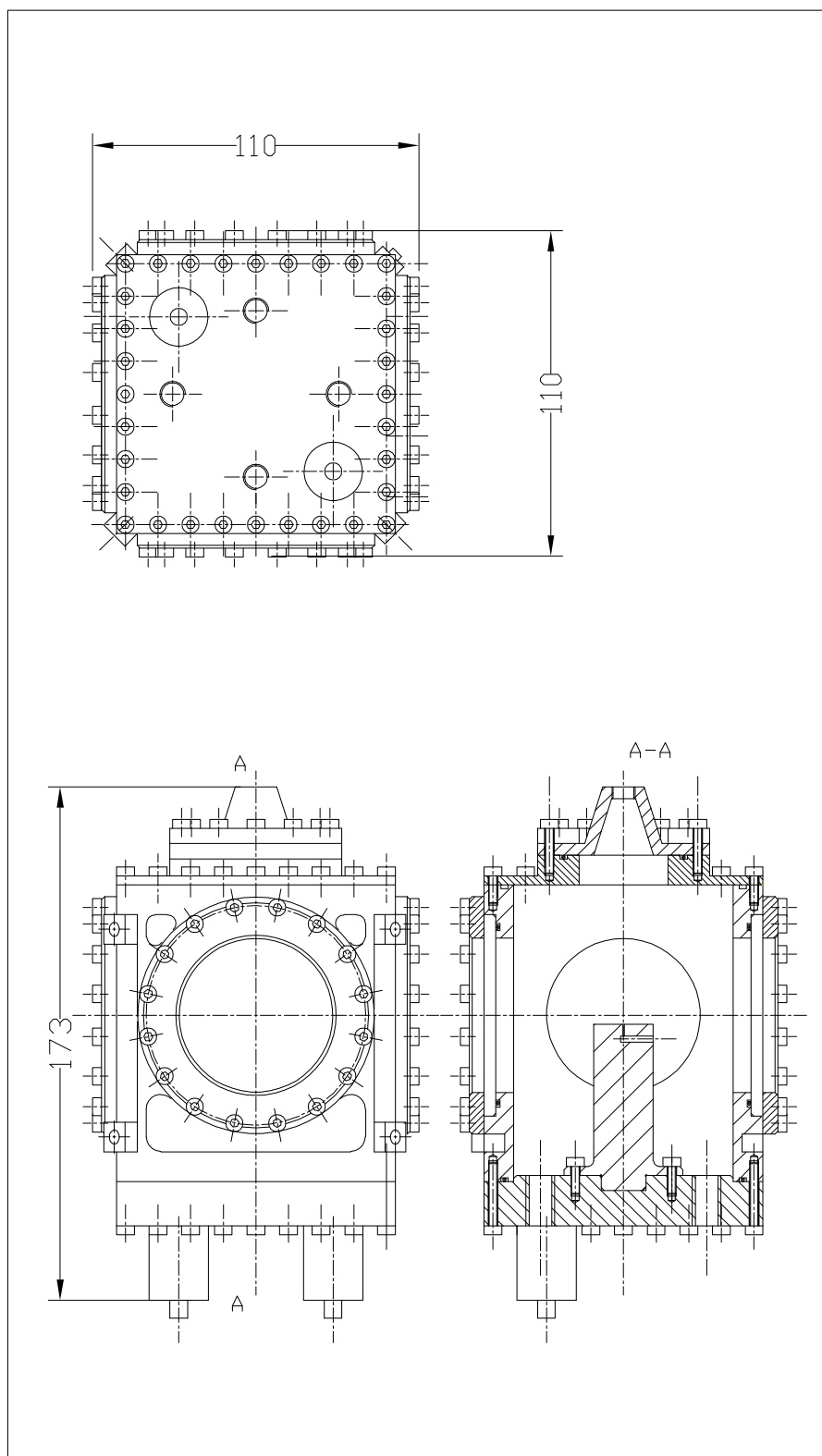


Figura B.1: Cella

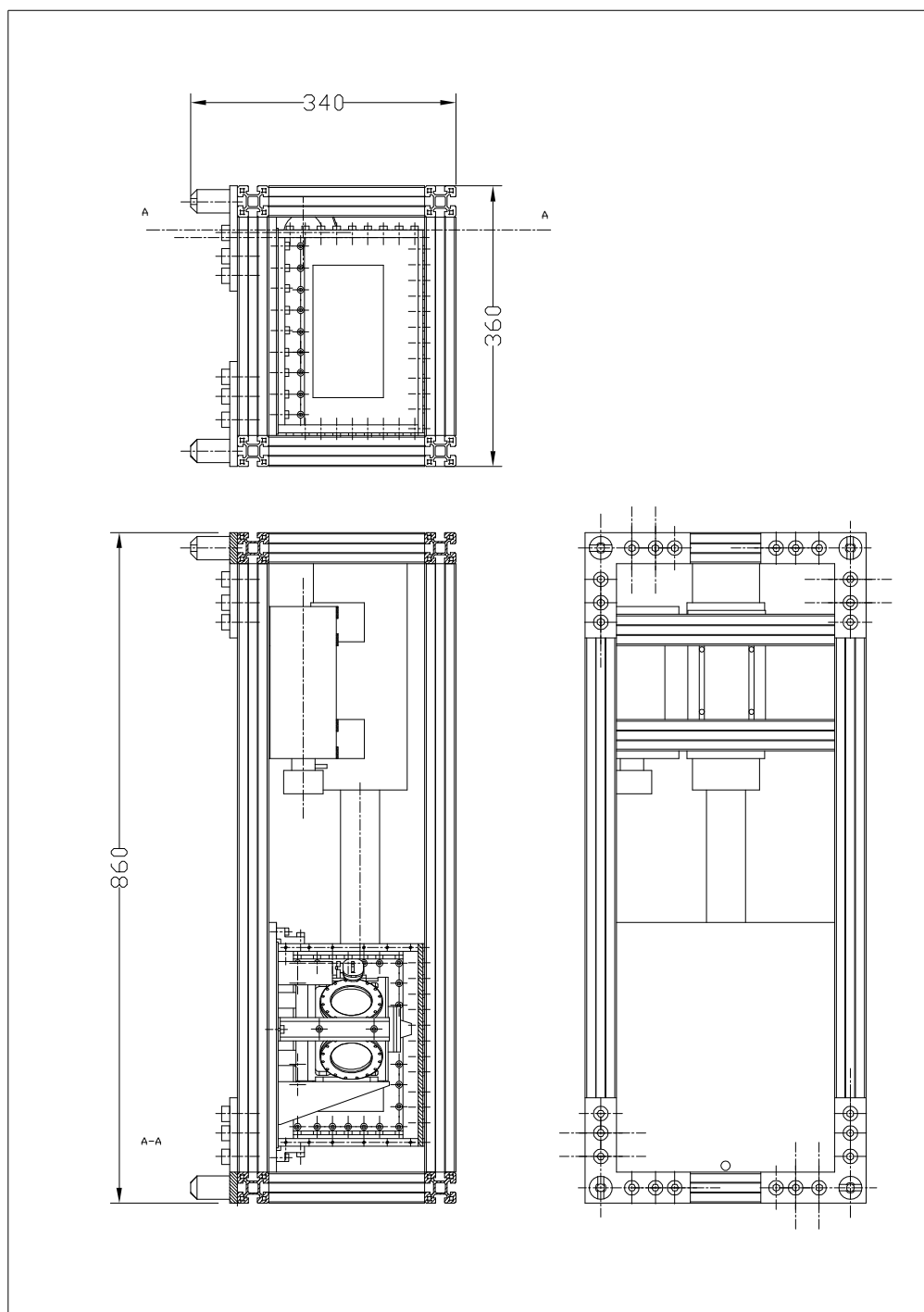


Figura B.2: Pacchetto flottante

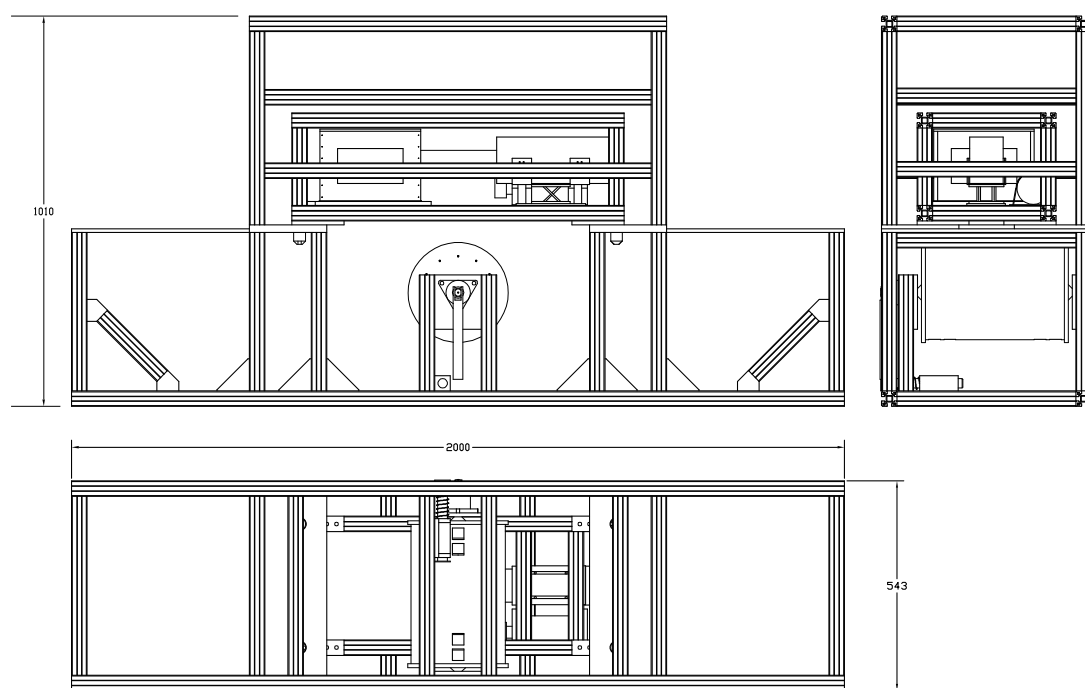


Figura B.3: Complessivo

## Appendice C

### Hazard Reports

## 1. Risk Assessment

### Experimental Components Compliance Review

Systems / product types / equipment	Applicable regulation	Requirement	Means to ensure compliance
<i>Hydraulic system</i>	<i>MU2007</i>	<i>double containment</i>	<i>Use of double contained hydraulic system.</i>
<i>Pressurized system</i>	<i>MU2007</i>	<i>Certification &lt; 5 years</i>	<i>Verification on bottle stamp</i>

Are all systems/products/equipment used on a regular basis by the ground and flight team personnel?

Yes

### Analysis of External Component Failure

Failures External to the Experiment		
Item	Probable Failure Mode	Impact on Experiment
<i>Electrical power</i>	<i>Outage</i>	<i>1. Outage of the 220 VAC causes a switch off of all electrical components: computer, electrical supplies, data acquisition unit, etc. The consequence is a switch off of the experiment. 2. Outage of the 28 VDC and 220 VAC causes the stop of all electrical components and of the experiment.</i>
	<i>Overvoltage</i>	<i>Power cables of the electrical components are able to tolerate an over voltage of up to 240 VAC.</i>
<i>Aircraft pressurization</i>	<i>Cabin depressurization at 300 mb</i>	<i>None. All the pressurized systems are tested to much higher <math>\Delta p</math>. The second confinement circuit can resist to an internal pressure of 6.0 bar.</i>

EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 1				
Name:				
Organization:				
Equipment / system:				
Hazard Group				
<b>Hazard Classification</b>				
Catastrophic			Critical	<i>X</i>
			Major	
<b>Environments where the hazard applies</b>				
NOVSPACE Biological Laboratories			NOVSPACE Set-up assembly area	<i>X</i>
A300 ZERO-G on Ground		<i>X</i>	A300 ZERO-G in Flight	<i>X</i>
Hazard Description :		<i>Release of fluid FC-72</i>		
<b>Hazard evaluation</b>				
	Hazard cause #1	1	<i>Leak in the cell</i>	
	Hazard control(s) :	1.1	<i>Second confinement of the cell</i>	
	Verification method(s)/ Verification Status :	1.1.1	<i>Test for waterproof ness after the cell assembling</i>	
		1.1.2	<i>Verification of the cell for waterproof ness before each filling procedure</i>	
		1.1.3	<i>Verification of the second confinement circuit before each flight</i>	



EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 2				
<b>Name:</b>				
<b>Organization:</b>				
<b>Equipment / system:</b>				
<b>Hazard Group</b>		<i>Extreme temperature</i>		
<b>Hazard Classification</b>				
<b>Catastrophic</b>		<b>Critical</b>	<i>X</i>	<b>Major</b>
<b>Environments where the hazard applies</b>				
NOVSPACE Biological Laboratories			NOVSPACE Set-up assembly area	
A300 ZERO-G on Ground		<i>X</i>	A300 ZERO-G in Flight	
<b>Hazard Description :</b>		<i>Skin contact with high temperature surfaces</i>		
<b>Hazard evaluation</b>				
	<b>Hazard cause #1</b>	1	<i>None of the instruments used during the experiment reaches high temperatures</i>	
	<b>Hazard control(s) :</b>	1.1		
	<b>Verification method(s)/ Verification Status :</b>	1.1.1		

EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 3				
<b>Name:</b>				
<b>Organization:</b>				
<b>Equipment / system:</b>				
<b>Hazard Group</b>		<i>Explosion</i>		
<b>Hazard Classification</b>				
<b>Catastrophic</b>	<i>X</i>	<b>Critical</b>		<b>Major</b>
<b>Environments where the hazard applies</b>				
NOVSPACE Biological Laboratories			NOVSPACE Set-up assembly area	
A300 ZERO-G on Ground		<i>X</i>	A300 ZERO-G in Flight	
<b>Hazard Description :</b>		<i>Explosion of nitrogen Tank</i>		
<b>Hazard evaluation</b>				
	<b>Hazard cause #1</b>	1	<i>Structural failure</i>	
	<b>Hazard control(s) :</b>	1.1	<i>Limiting the MAWP of the nitrogen Tank to 6.0 bar, lower than the Maximum Working Pressure (200 bar) of the tank.</i>	
		1.2	<i>Use of a relief valve to maintain the pressure in the Tank lower than 6.0 bar</i>	
	<b>Verification method(s)/ Verification Status :</b>	1.1.1	<i>Verification of stamped data on the gas bottle</i>	
		1.1.2	<i>Verification of the cracking pressure of the relief valve</i>	

EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 4, 5				
Name:				
Organization:				
Equipment name:				
Hazard Group		Explosion		
Hazard Classification				
Catastrophic		X	Critical	
			Major	
Environments where the hazard applies				
NOVSPACE Biological Laboratories			NOVSPACE Set-up assembly area	X
A300 ZERO-G on Ground		X	A300 ZERO-G in Flight	X
Hazard Description :		Explosion of the Test Section		
Hazard evaluation				
	Hazard cause #1	1	Structural failure	
	Hazard control(s) :	1.1	Limiting the MAWP of the test section to 6.0 bar, while the MDP (Maximum Design Pressure) is at least 10 bar (1.7 times the MAWP) or higher. The maximum design pressure (MDP) of the cell is 12 bar. For the pipes is 10 bar.	
		1.2	Use of the confinement box for containing the test section particles and the FC-72 fluid in the case of rupture or explosion of the cell	
	Verification method(s)/ Verification Status :	1.1.1	Verification of the cell by structural calculation of the stresses caused by inner pressure	
		1.1.2	Test of the cell at 12 bar (2 times the MAWP)	
		1.1.3	Visual inspection of the windows of the confinement box to detect the presence of fluid outside the test section	
	Hazard cause #2	2	Over pressurization	
	Hazard control(s) :	2.1	The maximum pressure in the test section is maintained lower than the MAWP by the manual control on the pressure regulator and by the relief valve outside the double containment.	
		2.2	Use of the confinement box for containing the test section particles and the FC-72 fluid	
	Verification method(s)/ Verification Status :	2.1.1	Test of the cracking pressure of the relief valves	
		2.1.2	Verification of the pressure regulator	
		2.1.3	Visual inspection of the windows of the confinement box to detect the presence of fluid outside the test section	

EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 6					
<b>Name:</b>					
<b>Organization:</b>					
<b>Equipment / system:</b>					
<b>Hazard Group</b>		<i>Explosion</i>			
<b>Hazard Classification</b>					
<b>Catastrophic</b>		<i>X</i>	<b>Critical</b>		
			<b>Major</b>		
<b>Environments where the hazard applies</b>					
NOVSPACE Biological Laboratories				NOVSPACE Set-up assembly area	
A300 ZERO-G on Ground			<i>X</i>	A300 ZERO-G in Flight	
<b>Hazard Description :</b>		<i>Explosion of the second confinement circuit</i>			
<b>Hazard evaluation</b>					
	<b>Hazard cause #1</b>	1	<i>Structural failure</i>		
	<b>Hazard control(s) :</b>	1.1	<i>Limiting the MAWP of the second confinement box to 3.0 bar</i>		
		1.3	<i>Realizing the second confinement with an adequate internal volume, in order to contain all the FC-72 at liquid state and all the nitrogen that could flow out of the tank</i>		
	<b>Verification method(s)/ Verification Status :</b>	1.1.1	<i>Verification of all the components of the second confinement box by structural calculation of the stresses caused by an internal pressure.</i>		
		1.1.2	<i>Test of second confinement circuit at 6.0 bar (2 times the MAWP)</i>		
		1.1.3	<i>Verification of total volume of nitrogen charged in the tank</i>		

EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 7, 8				
<b>Name:</b>				
<b>Organization:</b>				
<b>Equipment / system:</b>				
<b>Hazard Group</b>		<i>Explosion of high pressure circuit (nitrogen tank, pipes)</i>		
<b>Hazard Classification</b>				
<b>Catastrophic</b>	<i>X</i>	<b>Critical</b>		<b>Major</b>
<b>Environments where the hazard applies</b>				
NOVSPACE Biological Laboratories			NOVSPACE Set-up assembly area <i>X</i>	
A300 ZERO-G on Ground <i>X</i>			A300 ZERO-G in Flight <i>X</i>	
<b>Hazard Description :</b>		<i>Explosion of high pressure circuit (cell or nitrogen tank or pipes)</i>		
<b>Hazard evaluation</b>				
	<b>Hazard cause #1</b>	1	<i>Structural failure</i>	
	Hazard control(s) :	1.1	<i>Use of nitrogen tank with a MAWP (Maximum Allowable Working Pressure) of 6.0 Bar and a certified proof pressure of 200 bar</i>	
		1.2	<i>For the high pressure air circuit, use of components with a MAWP lower than 6 bar and a MDP higher than 10 bar</i>	
	Verification method(s)/ Verification Status :	1.1.1	<i>Certification by the manufacturer</i>	
		1.1.2	<i>Verification of stamped data on gas bottle</i>	
	<b>Hazard cause #2</b>	2	<i>Over pressurization during air filling - human error</i>	
	Hazard control(s) :	2.1	<i>Filling pressure will be limited at 6 bar</i>	
		2.2	<i>The maximum filling pressure is verified by two different manometers: the experiment one, and the manometer attached to the source nitrogen tank used for filling procedure. The nitrogen tank is connected to a relief valve working at 6.0 bar.</i>	
	Verification method(s)/ Verification Status :	2.1.1	<i>The operator verifies, with two different manometers, the maximum pressure of the nitrogen tank during the filling procedure.</i>	

EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 9, 10, 11				
<b>Name:</b>				
<b>Organization:</b>				
<b>Equipment / system:</b>				
<b>Hazard Group</b>		<i>Explosion</i>		
<b>Hazard Classification</b>				
<b>Catastrophic</b>	<i>X</i>	<b>Critical</b>		<b>Major</b>
<b>Environments where the hazard applies</b>				
NOVSPACE Biological Laboratories			NOVSPACE Set-up assembly area	<i>X</i>
A300 ZERO-G on Ground		<i>X</i>	A300 ZERO-G in Flight	<i>X</i>
<b>Hazard Description :</b>		<i>Explosion of low pressure circuit (Cell or pipes)</i>		
<b>Hazard evaluation</b>				
	<b>Hazard cause #1</b>	1	<i>Structural failure</i>	
	Hazard control(s) :	1.1	<i>The cell works with a MAWP (Maximum Allowable Working Pressure) of 6 bar and is designed for a maximum pressure of two times the MAWP (12.0 bar)</i>  <i>For the low pressure air circuit, use of components with a MDP higher than 6 bar while MAWP is 1 bar</i>	
		1.2		
		1.3		
	Verification method(s)/ Verification Status :	1.1.1	<i>The cell is tested in laboratory at 12 bar</i>	
	<b>Hazard cause #2</b>	2	<i>Over pressurization during nitrogen filling - human error</i>	
	Hazard control(s) :	2.1	<i>Filling pressure will be limited at 6 bar by the pressure regulator.</i>	
		2.2	<i>The maximum filling pressure is limited by a relief valve placed in the nitrogen tank</i>	
	Verification method(s)/ Verification Status :	2.1.1	<i>Calibration of the cracking pressure of the relief valves</i>	
	<b>Hazard cause #3</b>	3	<i>Over pressurization caused by a failure of pressure regulator</i>	
	Hazard control(s) :	3.1	<i>The cell and the experiment are designed with a MDP higher than 6 bar</i>	
		3.2		
	Verification method(s)/ Verification Status :	3.1.1	<i>Test the cell and the circuit in laboratory with a pressure of 6 bar</i>	

EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 12				
<b>Name:</b>				
<b>Organization:</b>				
<b>Equipment / system:</b>				
<b>Hazard Group</b>		<i>Rupture of frangible material</i>		
<b>Hazard Classification</b>				
<b>Catastrophic</b>			<b>Critical</b>	<i>X</i>
			<b>Major</b>	
<b>Environments where the hazard applies</b>				
NOVESPACE Biological Laboratories			NOVESPACE Set-up assembly area	<i>X</i>
A300 ZERO-G on Ground		<i>X</i>	A300 ZERO-G in Flight	<i>X</i>
<b>Hazard Description :</b>		<i>Fracture of glass components</i>		
<b>Hazard evaluation</b>				
	<b>Hazard cause #1</b>	1	<i>Structural failure</i>	
	Hazard control(s) :	1.1	<i>Use of Lexan plates to cover monitors.</i>	
		1.2	<i>Video camera lenses are fixed mounted to each video camera and placed in a protected position</i>	
	Verification method(s)/ Verification Status :	1.1.1	<i>Inspection before each flight.</i>	

EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 13,14				
<b>Name:</b>				
<b>Organization:</b>				
<b>Equipment / system:</b>				
<b>Hazard Group</b>		<i>Rupture</i>		
<b>Hazard Classification</b>				
<b>Catastrophic</b>		<i>X</i>	<b>Critical</b>	
			<b>Major</b>	
<b>Environments where the hazard applies</b>				
NOVSPACE Biological Laboratories			NOVSPACE Set-up assembly area	<i>X</i>
A300 ZERO-G on Ground		<i>X</i>	A300 ZERO-G in Flight	<i>X</i>
<b>Hazard Description :</b>		<i>Structural failure of the rack structure</i>		
<b>Hazard evaluation</b>				
	<b>Hazard cause #1</b>	1	<i>Not adequate design of the rack structure and its components for all loads indicated in the MU-2007-1en-d3 (Novespace A300 Zero-G Rules and Guidelines)</i>	
	Hazard control(s) :	1.1	<i>Structural analysis of all critical structural elements resulting in adequate margin of safety.</i>	
	Verification method(s)/ Verification Status :	1.1.1	<i>Structural analysis report</i>	
		1.1.2	<i>Inspection of the assembled structure (verification of dimensions and of fixation joints)</i>	
		1.1.3	<i>Before each flight, visual inspection of the rack structure and its components.</i>	
	<b>Hazard cause #2</b>	2	<i>Not adequate assembling of the structure and its components</i>	
	Hazard control(s) :	2.1	<i>Inspection of the assembled structure after the realization.</i>	
	Verification method(s)/ Verification status :	2.1.1	<i>Before each flight, inspection of the rack structure and its components.</i>	

EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 15			
<b>Name:</b>			
<b>Organization:</b>			
<b>Equipment / system:</b>			
<b>Hazard Group</b>		<i>Rupture of frangible material</i>	
<b>Hazard Classification</b>			
<b>Catastrophic</b>	<i>X</i>	<b>Critical</b>	
		<b>Major</b>	
<b>Environments where the hazard applies</b>			
NOVSPACE Biological Laboratories		NOVSPACE Set-up assembly area	<i>X</i>
A300 ZERO-G on Ground		A300 ZERO-G in Flight	<i>X</i>
<b>Hazard Description :</b>		<i>Components fixation failure</i>	
<b>Hazard evaluation</b>			
<b>Hazard cause #1</b>	1	<i>Not adequate fixation systems for the components of the facility</i>	
<b>Hazard control(s) :</b>	1.1	<i>Adequate use of fixation means.</i>	
<b>Verification method(s)/ Verification status :</b>	1.1.1	<i>Inspection of the assembled components after the facility realization.</i>	
	1.1.2	<i>Before each flight, visual inspection of the components and their fixation system.</i>	

EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 16			
<b>Name:</b>			
<b>Organization:</b>			
<b>Equipment / system:</b>			
<b>Hazard Group</b>		<i>Explosion</i>	
<b>Hazard Classification</b>			
<b>Catastrophic</b>		<b>Critical</b>	<i>X</i>
		<b>Major</b>	
<b>Environments where the hazard applies</b>			
NOVSPACE Biological Laboratories		NOVSPACE Set-up assembly area	<i>X</i>
A300 ZERO-G on Ground		A300 ZERO-G in Flight	<i>X</i>
<b>Hazard Description :</b>		<i>PC battery explosion</i>	
<b>Hazard evaluation</b>			
<b>Hazard cause #1</b>	1	<i>Over-temperature caused by a nearby facility fire</i>	
<b>Hazard control(s) :</b>	1.1		
<b>Verification method(s)/ Verification status :</b>	1.1.1		



EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 17				
<b>Name:</b>				
<b>Organization:</b>				
<b>Equipment / system:</b>				
<b>Hazard Group</b>		<i>Injury</i>		
Hazard Classification				
<b>Catastrophic</b>			<b>Critical</b>	<i>X</i>
		<b>Major</b>		
Environments where the hazard applies				
NOVSPACE Biological Laboratories			NOVSPACE Set-up assembly area	
A300 ZERO-G on Ground		<i>X</i>	A300 ZERO-G in Flight	
<b>Hazard Description :</b>		<i>Impact with sharp corners or edges</i>		
Hazard evaluation				
	<b>Hazard cause #1</b>	1	<i>Exposure to sharp corners or edges of the rack structure and its components</i>	
	Hazard control(s) :	1.1	<i>Use of impact absorbing foam</i>	
	Verification method(s)/ Verification status :	1.1.1	<i>Inspection before each flight.</i>	

EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 18				
<b>Name:</b>				
<b>Organization:</b>				
<b>Equipment / system:</b>				
<b>Hazard Group</b>		<i>Electrical shock</i>		
Hazard Classification				
<b>Catastrophic</b>		<i>X</i>	<b>Critical</b>	
		<b>Major</b>		
Environments where the hazard applies				
NOVSPACE Biological Laboratories			NOVSPACE Set-up assembly area	
A300 ZERO-G on Ground		<i>X</i>	A300 ZERO-G in Flight	
<b>Hazard Description :</b>		<i>Skin contact with conductors with higher voltage than 50 V</i>		
Hazard evaluation				
	<b>Hazard cause #1</b>	1	<i>Loss of insulation</i>	
	Hazard control(s) :	1.1	<i>Use of an adequate insulation and grounding of all metallic housing of the electrical equipment with voltage higher than 50 V.</i>	
		1.2	<i>Use of adequate cables.</i>	
			<i>Use of a differential circuit breaker.</i>	
	Verification method(s)/ Verification status :	1.1.1	<i>Test after the facility realisation.</i>	
		1.1.2	<i>Test of the circuit differential breaker before each flight.</i>	

EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 19				
<b>Name:</b>				
<b>Organization:</b>				
<b>Equipment / system:</b>				
<b>Hazard Group</b>		<i>Illness</i>		
<b>Hazard Classification</b>				
<b>Catastrophic</b>			<b>Critical</b>	
			<b>Major</b>	<i>X</i>
<b>Environments where the hazard applies</b>				
NOVSPACE Biological Laboratories			NOVSPACE Set-up assembly area	
A300 ZERO-G on Ground		<i>X</i>	A300 ZERO-G in Flight	
<b>Hazard Description :</b>		<i>Sudden illness of one of the experiment operators</i>		
<b>Hazard evaluation</b>				
	<b>Hazard cause #1</b>	1	<i>Space motion sickness</i>	
	<b>Hazard control(s) :</b>	1.1	<i>The other operators or the flying personnel can stop the experiment by pushing the Emergency Stop Button. There are three others operators in the crew for the experiment, they can decide if they are able to perform the experiment or not. In any case the experiment can run without the human control, so there is enough time to stop the experiment.</i>	
	<b>Verification method(s)/ Verification status :</b>	1.1.1		
		1.1.2		

EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 20				
<b>Name:</b>				
<b>Organization:</b>				
<b>Equipment / system:</b>				
<b>Hazard Group</b>		<i>Fire</i>		
<b>Hazard Classification</b>				
<b>Catastrophic</b>			<b>Critical</b>	<i>X</i>
			<b>Major</b>	
<b>Environments where the hazard applies</b>				
NOVSPACE Biological Laboratories			NOVSPACE Set-up assembly area	
A300 ZERO-G on Ground		<i>X</i>	A300 ZERO-G in Flight	
<b>Hazard Description :</b>		<i>Fluid FC-72 decomposition</i>		
<b>Hazard evaluation</b>				
	<b>Hazard cause #1</b>	1	<i>Nearby facility fire</i>	
	<b>Hazard controls) :</b>	1.1	<i>Use of nonflammable materials for all the components of the facility</i>	
		1.2	<i>Use of the aircraft fire protection facilities</i>	
	<b>Verification method(s)/ Verification status :</b>	1.1.1		
		1.1.2		

EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 21				
Name:				
Organization:				
Equipment / system:				
Hazard Group		Fire		
Hazard Classification				
Catastrophic	X	Critical		Major
Environments where the hazard applies				
NOVSPACE Biological Laboratories			NOVSPACE Set-up assembly area	
A300 ZERO-G on Ground		X	A300 ZERO-G in Flight	
Hazard Description :		Explosion of the main circuit		
Hazard evaluation				
	Hazard cause #1	1	Over-pressurization caused by nearby facility fire	
	Hazard control(s) :	1.1	Use of nonflammable materials for all the components of the facility	
		1.2	Use of the aircraft fire protection facilities	
	Verification method(s)/ Verification status :	1.1.1		
		1.1.2		

EXPERIMENT/TEST EQUIPMENT HAZARD REPORT # 24				
Name:				
Organization:				
Equipment / system:				
Hazard Group		Extreme temperature		
Hazard Classification				
Catastrophic		Critical	X	Major
Environments where the hazard applies				
NOVSPACE Biological Laboratories			NOVSPACE Set-up assembly area	
A300 ZERO-G on Ground		X	A300 ZERO-G in Flight	
Hazard Description :		Fluid FC-72 decomposition		
Hazard evaluation				
	Hazard cause #1	1	High temperature $T > 200^{\circ}\text{C}$ for long periods, or continuously	
	Hazard control(s) :	1.1	The fluid is contained in the cell (waterproof).	
		1.2	Use of second confinement	
	Verification method(s)/ Verification status :	1.1.1	Pressure test of the main circuit for waterproof	
		1.2.1	Pressure test of the second confinement for waterproof	

## 2. Connection to the Aircraft Vent-Line

Connection of the experiment to the vent-line:	<No >
Product types to be exhausted:	NA
Max. temperature of the exhausted products:	NA
Means used to monitor and control the temperature of the exhausted products:	NA
Max. resistance temperature of the exhaust duct to the vent-line:	NA

## 3. Sensitivities and Generation of Environmental Nuisances

Is the experiment noisy?	No
Does the experiment generate odors?	No
Does the experiment use a wireless communication means (wifi, Bluetooth, IR, RF, ...)?	No
Wireless communication type:	NA
Frequencies:	NA
Does the experiment use magnetic or electrical fields?	No
Field type:	NA
Measured field strength:	NA
Is the experiment sensitive to vibrations?	A little
Does the experiment generate vibrations?	No
Estimated amplitude and frequency of the generated vibrations:	NA
Is the experiment sensitive to light?	No

## 4. Specific Requirements for Ground-Based and In-Flight Operations

- Storage of FC72 in well ventilated area on ground.

# Bibliografia

- [1] Di Marco P. Grassi W.  
*Pool boiling in the presence of an electric field and in a variable gravity field: results of experiments in parabolic flight.*  
Eurotherm Seminar n. 48 - Pool Boiling 2 - Paderborn, D, September 18-20, 1996
- [2] Tsuge Ideki  
*Hydrodynamics of bubble formation from submerged orifice*  
Department of Applied Chemistry of Science and Technology, Yokohama Japan.
- [3] G. Memoli  
*Comportamento di bolle in condizioni di microgravità*  
LOTHAR, Dipartimento di Energetica "L. Poggi" Università di Pisa, Italia
- [4] Paolo Di Marco, Walter Grassi  
*Pool boiling in microgravity: assessed results and open issues*
- [5] Cattide A., Di Marco P., Grassi W.  
*Evaluation of the electrical forces acting on a detaching bubble*  
XXV Congresso Nazionale, UIT, Trieste, 18-20 Giugno 2007, pp.315-320 Dipartimento di Energetica, Università di Pisa
- [6] p. Di Marco, W. Grassi, A. Faini, G. Memoli  
*Electric field effects on bubbles of nitrogen in FC-72 originating from a flat plane*  
LOTHAR, Dipartimento di Energetica "L. Poggi" Università di Pisa, Italia

- [7] ESA  
*European user guide to low gravity platform*  
ESA, Bruxel, 2007.
- [8] Novespace  
*Novespace A300 Zero-G rules and guidelines*  
NOVSPACE 15, rue des Halles 75001 Paris – France
- [9] ESA  
*Safety requirements for ESA parabolic flight campaign payloads*  
ESA, Bruxel, 2007
- [10] P. Di Marco, Grassi W, G. Memoli, T. Takamasa, A. Tomiyama, S. Hosokawa  
*Influence of electric field on single gas-bubble growth and detachment in microgravity*  
LOTHAR, Dipartimento di Energetica “L. Poggi” Università di Pisa, Italia
- [11] R.C. Juvinall, K.M. Marshek  
*Fondamenti della progettazione dei componenti delle macchine*  
ETS, Pisa. 1993
- [12] G. Curti, F. Curà  
*Comportamento meccanico dei materiali*  
CLUT
- [13] W.F. Smith  
*Scienza e tecnologia dei metalli*
- [14] M. Conserva, G. Donzelli, R. Trippodo  
*Alluminio: manuale degli impieghi*  
Edimet, Brescia
- [15] 3M  
*3M MATERIAL SAFETY DATA SHEET FC-72 FLUORINERT Brand Electronic Liquid*
- [16] C. Carmignani  
*Dinamica strutturale*  
ETS, Pisa. 2001

- [17] Citizen Electronics Co  
*High Power White LED for General Lighting*
- [18] [www.novespace.fr](http://www.novespace.fr)
- [19] [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)
- [20] [www.esa.eu](http://www.esa.eu)
- [21] [www.rose-krieger.com](http://www.rose-krieger.com)
- [22] [www.flashandsplash.ch](http://www.flashandsplash.ch)
- [23] [www.spaceflight.esa.int](http://www.spaceflight.esa.int)
- [24] [www.atlasaerospace.net](http://www.atlasaerospace.net)
- [25] [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [26] [www.matweb.com](http://www.matweb.com)
- [27] [www.wirerope.com](http://www.wirerope.com)
- [28] [www.avagotech.com](http://www.avagotech.com)
- [29] [www.agilent.com](http://www.agilent.com)
- [30] [www.luxeon.com](http://www.luxeon.com)
- [31] [www.lumileds.com](http://www.lumileds.com)
- [32] [www.oringusa.com](http://www.oringusa.com)